This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

DEPARTMENT OF ZOÖLOGY
[redacted]

CORNELL
UNIVERSITY
LIBRARY

FROM

[redacted]
Digitized by Google

LIBRARY ANNEX
DATE DUE

RETURN TO

ALBERT R. MANN LIBRARY

ITHACA, N. Y.

Cornell University Library
QH 351.M74
v.1
Principes de morphologie generale.
3 1924 003 108 127

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

PRINCIPES

DE

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

TOME I

Digitized by Google

PARIS. -- IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET C^ie^,
79401 Quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

SCIENCE ET ESTHÉTIQUE

PRINCIPES

DE

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

PAR

Édouard MONOD-HERZEN

LICENCIÉ ÈS SCIENCES
ARTISTE DÉCORATEUR
BIBLIOTHÉCAIRE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES ARTS DÉCORATIFS

TOME I

FORMES DÉFINIES. FAMILLES DE FORMES. FORMES ASSOCIÉES.
FORME ET FONCTIONNEMENT. DES CRISTAUX A LA MATIÈRE VIVANTE

PARIS
GAUTHIER-VILLARS ET Cie, ÉDITEURS
LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55

1927

Digitized by Google

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

Digitized by Google

NOTE PRÉLIMINAIRE

L'étude actuelle a été menée en liaison avec la pratique quotidienne d'un art. Elle a été conçue en 1896. *Son argument de fond a fait l'objet d'un pli déposé à l'Institut en* 1901. *Divers points en ont ensuite été traités en des conférences, et en des articles de revue, au cours des années* 1906, 1909, 1911, 1913, 1921, 1922, 1923, *puis repris et développés en plusieurs volumes, dont celui-ci est le premier.*

Digitized by Google

Digitized by Google

DÉDICACE

J'ai eu beaucoup de Maîtres excellents, à qui je pense toujours avec ferveur et respect. Ils ont profondément marqué ma vie. Les pages qui suivent leur sont tout naturellement offertes.

Tous sont dans ma pensée, mais j'éprouve un sentiment particulier pour ceux à qui j'ai dû le départ sur une route nouvelle : vraie révélation, nouvelle naissance.

Quatre figures : P. Félix THOMAS, Carlo BOURLET, Frédéric HOUSSAY : *philosophie, sciences exactes, biologie. Le quatrième m'a montré que la perfection de l'esprit ne va pas sans la puissance d'une sympathie active, don de soi incessamment renouvelé :* Romain ROLLAND.

A eux et à lui ce livre est spécialement dédié.

ED. M.-H.

Digitized by Google

Digitized by Google

AVANT-PROPOS.

Les Formes sont objet d'examen particulier pour les savants et pour les artistes; mais on n'aperçoit pas très bien, au premier moment, l'harmonie des résultats obtenus respectivement par les uns et par les autres.

Les artistes se soucient assez peu des données de la Science, et les savants se soucient moins encore de cette « donnée » spéciale qu'est l'Œuvre d'Art.

La Science est une discipline consciente, rationnelle, et qui procède par étapes successives contiguës, sans sauter d'intermédiaires. L'Œuvre d'Art est un surprenant phénomène de synthèse directe, globale, obtenue d'emblée, et qui traduit des réactions émotives, intuitives, dont la plus grande part est subconsciente : devant elle, l'analyse hésite, déconcertée.

Le savant, grâce au Nombre et à la Mesure, représente les phénomènes par une symbolique définie, d'une souplesse et d'une précision déterminées. Mais l'artiste comprend mal, et péjorativement, le fait que ce langage incomparable ne puisse, sur l'heure, expliquer tout. L'artiste a une symbolique d'apparence mystérieuse, et qui échappe à une définition nette. Il sait que, pour comprendre un phénomène, il n'est pas toujours indispensable d'en connaître les lois exactes. Pour lui, pour résoudre ses problèmes spéciaux, il suffit d'une direction, d'un sens, d'une qualité, et alors il pense qu'il n'a que faire du Nombre.

En d'autres termes, la connaissance du savant est d'abord et surtout ***quantitative***, et la connaissance de l'artiste est d'abord et surtout ***qualitative***.

Dans cette diversité, on a cru voir une opposition.

C'est une erreur essentielle.

Il y a, au contraire, une recherche féconde à poursuivre, touchant

Digitized by Google

les deux domaines, et qui, bien loin d'être exclusive en quoi que ce soit, les unisse, montre leurs liens profonds, et les conséquences qu'on en peut tirer.

On les devine. La Science et l'Art ne sont que deux termes éloignés d'une série d'activités (mathématique, physique, biologie, psychologie, esthétique), où décroît peu à peu le rôle de la Quantité et où croît celui de la Qualité.

Une étude de la Qualité se dessine donc.

Elle dépasserait, et de beaucoup, les limites du présent travail. Nous nous bornerons, à propos des Formes, à montrer, par quelques exemples typiques, comment elle s'introduit : ce livre n'est qu'une préface [1].

Je remercie la Maison Gauthier-Villars de l'accueil fait à ce travail, et de tous les soins donnés à l'édition.

---

[1] Les notes et références de tout genre seront, en conséquence, réduites au strict minimum.

Digitized by Google

PRINCIPES

DE

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

CHAPITRE I.

FORMES DÉFINIES.

1. — MORPHOLOGIE (1).

En grec, *morphê* veut dire : forme; et *logos* : étude, science.

La *Morphologie* est donc l'*Étude des formes*, sans spécification aucune; et chacun pense saisir fort bien ce qu'il faut entendre par Morphologie générale, ou par telle ou telle Morphologie particulière.

Pourtant, si l'on évoque, par la pensée, ces divers êtres que sont une figure géométrique, un nuage, une étincelle, une vague, un caillou, une plante, un animal, on voit le même terme de « forme » appliqué, indifféremment, aussi bien à des apparences simples, qu'à d'autres beaucoup plus complexes.

Les diverses Morphologies pourront donc différer singulièrement. Et en effet, leur examen fait surgir, parallèlement, des notions associées, qui expliquent leurs caractéristiques propres.

2. — FORMES DÉFINISSABLES.

Les Formes les plus simples sont les formes *définissables*, celles dont on peut formuler, d'une manière précise, la disposition des

(1) Terme dû à Gœthe.

Digitized by Google

divers éléments, celles dont on connaît la loi exacte, celles dites géométriques.

On croit assez communément que les formes géométriques, à deux et à trois dimensions, résultent d'une sorte de fantaisie intellectuelle, d'un pur jeu de l'esprit.

Sans nous arrêter à ceci qu'un phénomène mental est « naturel », au même titre que n'importe quel autre, nous nous bornerons à dire que les formes géométriques sont, tout uniment, celles des formes naturelles que nous savons définir; et qu'on les rencontre partout, à tout moment.

Le seul embarras est de faire un choix parmi leur multitude.

3. — DROITE, PLAN, CERCLE, SPHÈRE, ETC. FORMES RÉGULIÈRES.

A l'échelle ordinaire de la vision, la droite, le cercle, le plan, la sphère et leurs combinaisons mutuelles, sont banales.

A l'échelle microscopique, les squelettes de certains animaux de mer en présentent aussi des arrangements remarquables.

Ainsi, la structure fondamentale du squelette des Éponges siliceuses *Hexactinelles* est. tout entière, telle un échafaudage de nos maçons, rectiligne et orthogonale, tant pour les éléments unis en une charpente continue, que pour ceux qui se trouvent isolés; et ce n'est pas sans

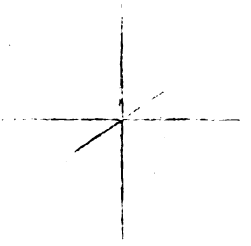


Fig. 1. — Spicule d'éponge siliceuse (*Hyalonema tenue*) (Schulze).

étonnement qu'on y rencontre de nombreux spicules, réalisant matériellement le *trièdre trirectangle*, si familier aux géomètres (*fig.* 1).

Digitized by Google

La disposition trirectangle, ou *cubique*, associée ou non avec une *sphère*, se retrouve dans le squelette de quantité de *Radiolaires* [1]. Dans la figure 2 (*Nassellaria*), nous avons une sphère à trois *grands cercles* orthogonaux; dans la figure 3 (*Spumellaria*), une sphère à

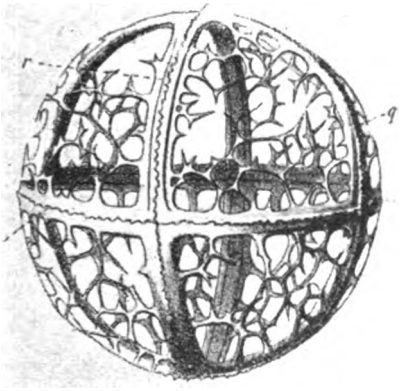


Fig. 2. — Squelette de radiolaire (*Trissocyclus sphæridium*) (Haeckel).

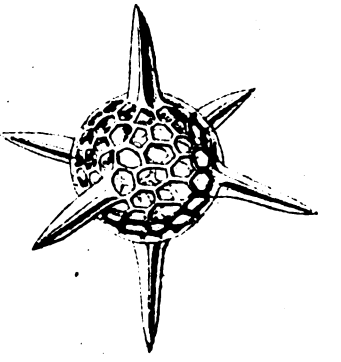


Fig. 3. — Squelette de radiolaire (*Hexastylus triaxonius*) (Haeckel).

trois *axes* rectangulaires; et dans la figure 4 (*Phæodaria*), un *octaèdre* régulier, avec ses axes : 8 faces égales, triangles équilatéraux.

Ce dernier *Phæodarié* appartient à la famille des *Circoporides*, dont le corps principal, c'est-à-dire moins les prolongements axiaux, est un *polyèdre* inscriptible dans une sphère.

Ce polyèdre peut être *régulier*, circonstance intéressante, car elle ne se présente pas souvent dans la nature.

Sont rares surtout : le *dodécaèdre* régulier, 12 faces égales, pentagones réguliers; et l'*icosaèdre* régulier, 20 faces égales, triangles équilatéraux. Le premier est donné par la *Circorrhegma dodecahedra* (*fig.* 5); et le second par la *Circogonia icosahedra* (*fig.* 6).

---

[1] *Cf.* les beaux travaux de Haeckel : *Monographie der Radiolarien*; *Generelle Morphologie*; etc.

Digitized by Google

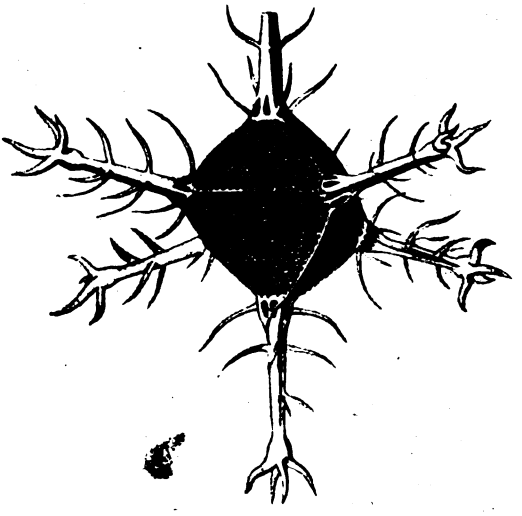


Fig. 4. — Squelette de radiolaire (*Circoporus octahedrus*) (Haeckel).

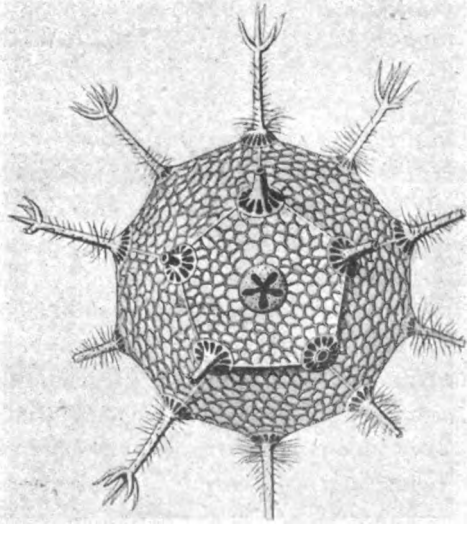


Fig. 5. — Squelette de radiolaire (*Circorrhegma dodecahedra*) (Haeckel).

Digitized by Google

Une disposition plus curieuse encore est présentée par la plupart des radiolaires *Acanthaires*.

On sait qu'on a été conduit à distinguer, sur le globe terrestre, pour des raisons astronomiques, deux pôles, et cinq cercles parallèles, perpendiculaires à l'axe polaire : d'abord, le grand cercle de l'*équateur*, puis, symétriquement à celui-ci, deux à deux, les deux *tropiques* (du

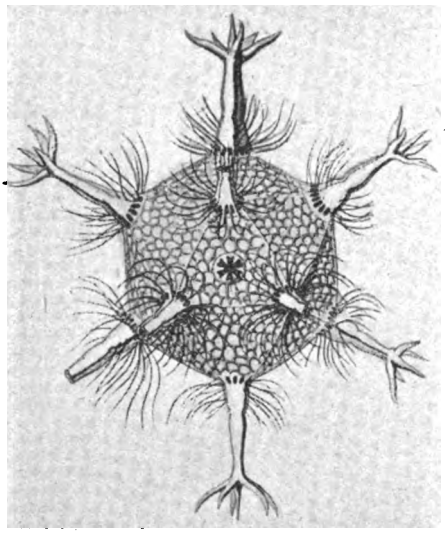


Fig. 6. — Squelette de radiolaire (*Circogonia icosahedra*) (Haeckel).

Cancer et du Capricorne), et les deux *cercles polaires* (arctique et antarctique). Et ces cinq cercles sont, par rapport aux pôles, à des distances déterminées.

Or, les Acanthaires en question ont la forme d'une sphère (de l'ordre du dixième de millimètre), traversée par 10 axes, prolongés par 20 spicules (deux par axe), et répartis de la manière suivante (*fig.* 7) :

Deux premiers axes sont à angle droit, et dans un plan diamétral qui coupe la sphère suivant un grand cercle E. Prenons ce grand cercle comme équateur, et menons la ligne des pôles AA'. Les deux premiers axes donnent 4 spicules, diamétralement opposés deux à deux : *c*. Les deux *méridiens* qui contiennent chaque tel couple de spicules *c*,

Digitized by Google

continennent, *ipso facto*, l'axe correspondant, et sont donc aussi orthogonaux (en pointillé).

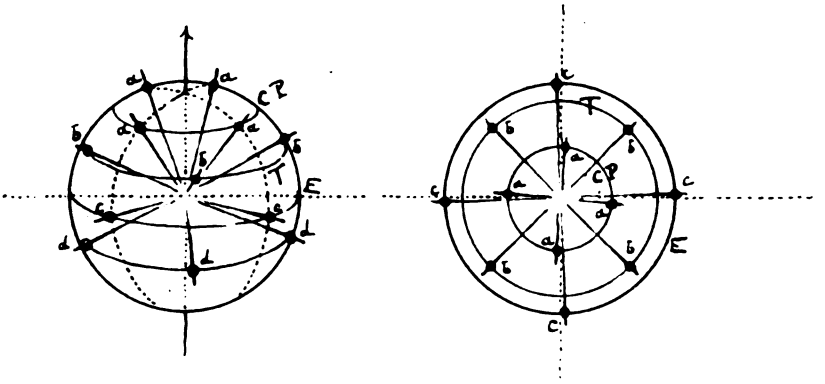


Fig. 7. — Perspective et plan de la disposition des axes des spicules chez les radiolaires Acanthaires.

Maintenant, supposons tracés, sur ce globe en miniature, les

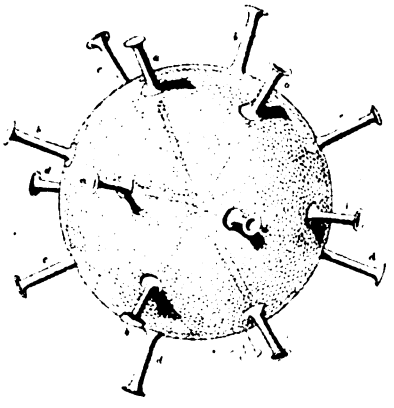


Fig. 8. — Squelette de radiolaire Acanthaire (*Cannocapsa stethoscopicum*) (Haeckel).

tropiques T, T', et les cercles polaires CP, C' P' (1). On voit alors

(1) La figure 7 représente principalement l'hémisphère nord, et cela suffit, car tout ce qui se passe sur l'un des hémisphères est répété symétriquement sur l'autre.

Digitized by Google

quatre autres axes, sortant en *a*, sur le cercle polaire CP, aux points où celui-ci est rencontré par les méridiens des points *c*. Et il y a quatre autres axes encore, sortant, sur le tropique T, aux points *b*, en des positions bissectrices des précédentes.

Cette symétrie remarquable conduit, par exemple, à l'aspect surprenant de la figure 8, qui ressemble davantage à un appareil de laboratoire plutôt qu'au squelette d'un animal vivant.

Remarque.

Il est à peine besoin d'ajouter qu'il n'y a aucun rapport entre cette morphologie et les raisons qui ont fait distinguer, sur le globe terrestre, un équateur, des tropiques, et des cercles polaires.

Dans la nature, et nous reviendrons plus loin sur ce fait, certaines identités dans les résultats peuvent être dues à des processus fort différents, comme aussi des aspects disparates peuvent être dus à des processus très voisins. Il faut donc être particulièrement circonspect, avant d'énoncer une *relation*.

Ici, le nombre des spicules correspond, au choix, au nombre des sommets du dodécaèdre, ou au nombre des faces de son conjugué, l'icosaèdre.

On verra plus loin, en première approximation, que toutes ces symétries sont liées à la répartition régulière des actions mécaniques exercées sur l'animal par le fluide environnant (1).

4. — FORMES SEMI-RÉGULIÈRES.

La coque des Acanthaires n'est d'ailleurs point assujettie à rester une sphère à peu près parfaite, figure de globe minuscule. D'innombrables pores la trouent, et peuvent croître, au point de ne laisser d'elle qu'un *réseau polygonal curviligne*, entièrement ajouré.

Ou bien elle peut admettre des facettes plus ou moins aplaties, et elle n'est plus qu'un polyèdre *semi-régulier*. La figure 9 donne le schéma, sous deux aspects, correspondant à la figure 7, de la même

(1) *Cf.* Chapitre II, § 30, Remarque p. 105 et 106.

Digitized by Google

Doratáspis. Les faces sont des hexagones et des pentagones légèrement cintrés :

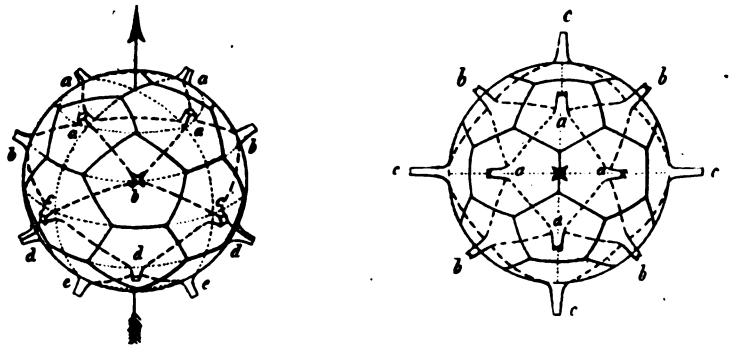


Fig. 9. — Schéma du squelette d'un radiolaire (*Doratáspis*) (Haeckel).

Les figures *semi-régulières* sont très intéressantes, esthétiquement. Elles n'ont pas, comme les figures régulières, ces répétitions si

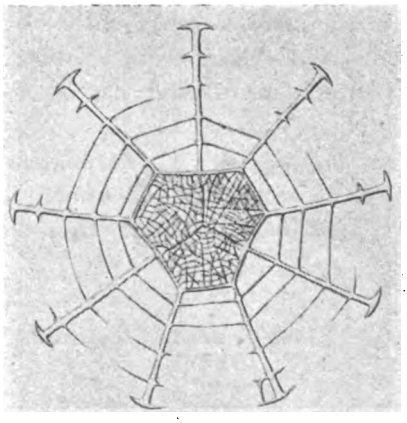


Fig. 10. — Pièce du squelette du radiolaire *Sethoformis rotula* (Haeckel).

parfaites qui font souhaiter un peu de diversité, et elles sont cependant équilibrées.

Voici un exemple plan, assez complet, dans sa grande simplicité :

C'est une pièce polygonale, appartenant au squelette d'un *Nasselarié*, *Sethoformis rotula* (*fig.* 10). La partie centrale est un hexagone semi-régulier (trois grands côtés et trois petits), résolu en trois penta-

Digitized by Google

gones semi-réguliers, par trois axes fondamentaux équidistants issus du centre de figure, perpendiculaires, respectivement, au milieu de chacun des trois grands côtés de l'hexagone, et se prolongeant en dehors de celui-ci. D'autres rayons partent des sommets de l'hexagone, et croissent, jusqu'à constituer, avec les trois axes précédents, les neuf rayons équidistants d'un grand *ennéagone* régulier, qui comprend, entre sa périphérie et l'hexagone central, quatre autres ennéagones parallèles, concentriques.

L'ensemble est d'une belle harmonie, et serait une trouvaille pour l'artiste qui l'eût imaginé.

5. — COURBURES.

Les formes définies, rencontrées jusqu'ici, sont celles de la géométrie la plus élémentaire.

Une erreur assez commune consiste à sous-entendre, par « géométriques » ces formes élémentaires seulement. Elles ne constituent cependant, dans le monde, multiplement infini, des Formes (lignes planes, lignes gauches, surfaces, et leurs combinaisons), qu'un groupe non seulement infime, mais très *exceptionnel*.

En effet, dans le langage courant, l'allure, ou le galbe, d'un contour, ou d'un modelé, ne sont autre chose qu'un ensemble de *courbures*. La *courbure*, pour une apparence donnée, est l'élément morphologique caractéristique.

Sans entrer dans aucun détail, rappelons qu'en *chacun* de ses points, une ligne plane a une courbure; qu'une ligne gauche a une courbure et une torsion, qui est une courbure particulière; et qu'une surface a une infinité de courbures. Parmi ces dernières, on en distingue deux, dites *principales*; et l'on définit ce qu'on entend, en un point donné, par *courbure moyenne*, et par *courbure totale* (1).

Dans le cas général, pour un objet quelconque, la courbure varie d'un point à un autre. Or, la droite a une courbure nulle; le cercle a une courbure non nulle, mais constante; le plan a toutes ses courbures nulles; et la sphère a toutes ses courbures constantes non nulles.

---

(1) On définit encore la *courbure géodésique*.

Digitized by Google

On aperçoit donc tout de suite à quel point ces figures sont particulières.

Il n'est peut-être pas sans intérêt d'ajouter qu'elles font partie du petit groupe, très spécial, de celles qui peuvent *glisser sur elles-mêmes*. Trois autres de ces figures, que nous retrouverons plus loin, sont : le *cylindre de révolution*; la courbe gauche, tracée sur ce dernier, appelée *hélice circulaire*, assez bien représentée par un ressort à boudin; et la surface appelée *hélicoïde à plan directeur*, ou *hélicoïde minimum* (1), qu'on aperçoit en examinant les nappes, inclinées sur l'axe, d'une vis à filet carré, ou en regardant le dessous d'un escalier tournant, dit aussi « à vis ». Les formes tubulaires, les fibres en « tire-bouchon », et les dispositions hélicoïdales sont d'ailleurs faciles à trouver dans la nature, tant animale que végétale. Mais le cylindre de révolution a une courbure moyenne constante; l'hélice circulaire a une courbure et une torsion constantes; et l'hélicoïde minimum a une courbure moyenne nulle : tout ce petit groupe de figures est donc, morphologiquement, une *exception*, et la « Géométrie » le dépasse singulièrement.

Au reste, les formes définies à courbure *variée*, sont tout aussi familières à chacun d'entre nous. En voici quelques-unes :

6. — CYCLOÏDES

Cycloïde à rebroussements. — Lorsqu'une voiture roule, en ligne droite, sur un sol plan, un point quelconque de la *périphérie* d'une de ses roues décrit une courbe définie, à *rebroussements*, appelée *cycloïde* (*fig.* 11).

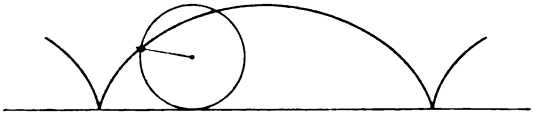


Fig. 11. — Cycloïde ordinaire, à rebroussements.

La figure est en arceaux successifs, tous pareils, car un phénomène

(1) Ces désignations seront expliquées plus loin (§ 21, p. 49).

Digitized by Google

dont les phases se répètent, identiques, donne lieu à une suite indéfinie d'apparences identiques.

Cycloïdes à inflexions. — Si le point considéré n'est plus à la périphérie même de la roue, mais à l'*intérieur*, sur un des rayons, les rebroussements s'émoussent, et sont remplacés, chacun, par deux *inflexions*. La courbe devient une *cycloïde à inflexions*, dite aussi *aplatie*, ou encore *trochoïde* (*fig.* 12).

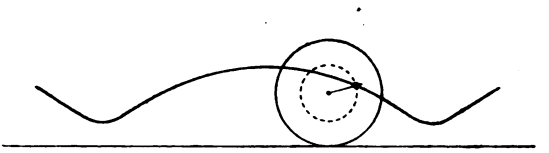


Fig. 12. — Cycloïde à inflexions, ou trochoïde.

On conçoit qu'il n'y ait qu'une cycloïde, tandis qu'il y a une infinité de trochoïdes, puisque le point décrivant, sur le rayon, peut être considéré près de la périphérie, ou de plus en plus loin d'elle, jusqu'au centre du moyeu, qui ne décrit plus qu'une simple ligne droite, parallèle au sol.

Il y a ainsi tous les « passages » possibles, de la cycloïde à la droite, par des trochoïdes de plus en plus aplaties. Nous allons les voir dans un instant.

On rencontre là le premier exemple d'une *famille* de courbes, comprise entre deux courbes *limites*.

On aura une bonne idée des familles de courbes, dans des cas simples, en pensant aux veines du bois ou de l'agate.

Cycloïdes à boucles, ou points doubles, ou nœuds. — Si, par un dispositif quelconque, on enregistre maintenant la trajectoire d'un point qui serait sur un rayon prolongé à l'*extérieur* de la roue, les rebroussements de la cycloïde ordinaire se *bouclent*, ou, comme on dit en géométrie, deviennent des *points doubles*, ou *nœuds* (*fig.* 13).

Il y a également une infinité de cycloïdes à points doubles, le point considéré pouvant s'éloigner indéfiniment sur son rayon.

En rapprochant ce résultat du précédent, on voit que toutes les

Digitized by Google

cycloïdes forment une seule et grande famille : la cycloïde ordinaire, à rebroussements, est seule de son espèce, et sépare les autres courbes

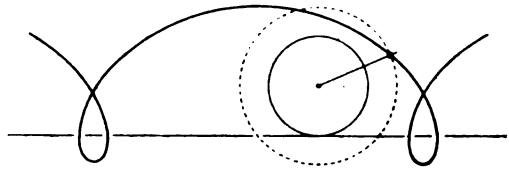


Fig. 13. — Cycloïde à points doubles.

de la famille en deux groupes, celui des cycloïdes à inflexions, et celui des cycloïdes à points doubles.

Houle et vagues en mer. — Il n'est pas que les mécanismes imaginés par l'homme qui puissent donner des lignes cycloïdales. Il ne faut d'ailleurs *jamais* penser qu'un mode de génération, indiqué pour une figure, soit exclusif, c'est-à-dire le seul possible. Au contraire, il est en général choisi parmi une infinité. Nous aurons à renouveler cet avis, en y insistant.

Dans le cas actuel, la mer nous offre toutes les trochoïdes voulues, dans le profil de ses *houles*.

Supposons la mer fixée en une immobilité fictive, instantanée. Supposons que le profil de sa surface libre soit celui du cas-limite donnant une cycloïde ordinaire, et dessinons, sous la surface, le profil

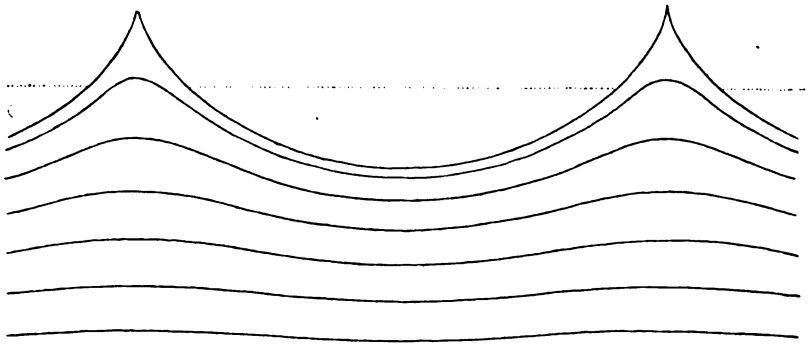


Fig. 14. — Houle en mer (profil des surfaces d'égale pression).

des couches d'égale pression (ou d'égal mouvement). Alors, on retrouve la famille des trochoïdes (*fig.* 14).

Digitized by Google

Ici, le sens des concavités est inverse de celui des courbes de roulement sur un chemin rectiligne horizontal. De plus, si pour une même roue, on dessinait la cycloïde (*fig.* 11) et les trochoïdes dont l'une est donnée par la figure 12, on verrait qu'il y a des intersections, tandis que dans le cas de la houle, aucune des surfaces de la famille ne coupe ses voisines.

Pour les vagues de la mer, la cycloïde ordinaire est déjà une exception. Et les cycloïdes à boucles y sont impossibles : un mouvement d'amplitude assez grande, qui tendrait à faire dépasser le profil de la cycloïde ordinaire, briserait la crête des vagues, qui se mettraient à « moutonner ».

Ceci nous montre, expérimentalement, qu'une solution donnée ne doit pas être *extrapolée* sans précaution, c'est-à-dire être employée en dehors des limites entre lesquelles, seules, elle est *physiquement* valable.

7. — ÉPICYCLOÏDES, HYPOCYCLOÏDES, ROSACES.

Si, au lieu de rouler sur une droite, la roue que nous considérions tout à l'heure roulait sur une autre roue fixe, soit à l'extérieur de celle-ci, soit intérieurement à elle (comme dans certains engrenages), on voit aussitôt que les éléments remarquables des trois types précédents, rebroussements, inflexions, points doubles, prendraient, au lieu d'une disposition rectiligne, une disposition circulaire, et que les arceaux qui les réunissent subiraient une modification correspondante. Alors naîtraient des figures festonnées, courant autour d'un centre, dites *épicycloïdes*, *hypocycloïdes*, à rebroussements, à inflexions, à points doubles .

Des courbes de cette famille sont réalisées, dans la nature, par certains phénomènes de réflexion de la lumière. Par exemple, sur une nappe, une bague ou un anneau de serviette, bien polis intérieurement, éclairés par le soleil, dessinent une plage claire, délimitée par une courbe, dite « caustique par réflexion », qui est une épicycloïde.

Dans le cas général, les épi- et hypocycloïdes présentent une suite indéfinie d'arceaux. Mais, sous certaines conditions, la courbe peut se fermer exactement, et elle devient alors une *rosace*, type de figure que tout le monde connaît. L'as de carreau, d'un jeu de

Digitized by Google

cartes, est, approximativement, un hypocycloïde à quatre rebroussements (1).

8. — ROULETTES.

Enfin, on voit bien vite que l'on peut varier la question d'une infinité de manières, en faisant rouler une courbe, autre qu'un cercle, sur des courbes autres qu'une droite ou un autre cercle.

Les figures qu'on obtient ainsi portent le nom de *roulettes*. Les courbes cycloïdales en sont des cas particuliers.

L'étude des roulettes est importante. Elle est étroitement liée au problème général du *mouvement continu d'une figure plane*, dans son plan.

Nous nous bornons à le signaler.

Remarque.

Des formes telles que les cycloïdes, épi- et hypocycloïdes sont dites *périodiques*, ou *rythmées*.

On peut, en passant, mettre le lecteur en garde contre l'emploi du terme *rythme*, qui a un sens très précis, et qu'on entend, souvent, prononcer sans raison. L'expression « rythme d'un tableau », par exemple, n'a aucune signification.

9. — SINUSOÏDE.

Un autre danger que l'on peut signaler est celui des ressem-

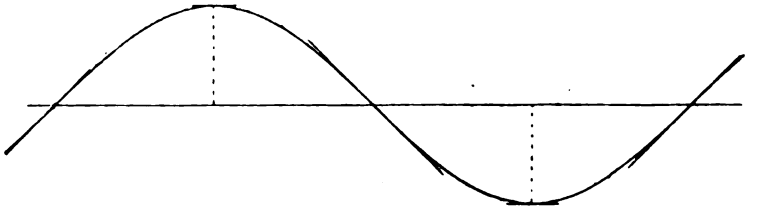


Fig. 15. — Sinusoïde.

blances, c'est-à-dire des erreurs considérables que l'on pourrait

(1) *Cf.* figure 86, Chapitre II, § 31, p. 110.

En raison de ce qui vient d'être dit, de nombreux mécanismes permettent, tels des compas spéciaux, de tracer toutes les courbes de cette espèce : Schwartzbard, Dechevrens, Geugnon, etc.

Digitized by Google

commettre en prenant l'une pour l'autre deux apparences qui, au regard, semblent très voisines.

Ainsi, on pourrait croire que la surface libre d'un liquide, où se propage un petit ébranlement, ou, comme on dit, un mouvement *ondulatoire simple*, a la forme d'une houle, en petit. C'est une erreur : le profil est d'un type différent, du type *sinusoïde* (*fig.* 15).

Remarque.

Il y a beaucoup de formes que l'on dit, abusivement, « ondulées ». On entend appeler « ondulations », les bosses dessinées par les muscles, sous la peau, et l'on entend parler de tôle « ondulée » pour toitures, etc. Pourtant, une succession de bosses et de creux ne suffit nullement pour qu'il y ait *ondulation*, c'est-à-dire *propagation d'une onde*, phénomène qui a reçu une définition tout à fait précise, et à qui l'emploi de cette expression devrait être strictement réservé (1).

Tout au moins, ne devrait-on pas oublier que, dans les autres cas, parler de « forme ondulée » n'est qu'une abréviation commode pour « *ressemblant* à une ondulation vraie, qui serait fixée ». Mais on n'y prend pas garde; très vite, on est machinalement tenté de voir, sous toute forme « ondulée », une onde, et d'extraordinaires erreurs peuvent s'en suivre.

Le coupable est le langage. Le langage n'est pas un instrument précis; il n'est qu'un outil commode. Il s'arrête à l'apparence superficielle, fragmentaire, des choses, et confond, arbitrairement, comme ici, une configuration fixée, avec celle d'un mouvement qui se propage. Il est, entre le monde extérieur et nous, un écran transparent, semble-t-il, mais, au fond, trompeur. Puis, peu à peu, et c'est là le pire, il substitue, à la réalité, ses propres évocations : il est un des plus grands ennemis de l'esprit.

Il ne faut donc jamais s'arrêter au *mot*, mais toujours penser à la réalité qu'il entend désigner : il faut *penser la réalité*, sous le « verbe » qui la cache.

10. — SINUSOÏDE, CYCLOÏDE ET HÉLICE CIRCULAIRE. PERSPECTIVES OU PROJECTIONS. ELLIPSE.

La sinusoïde n'est pas une trochoïde. Mais elle a cependant cer-

(1) On peut faire la même remarque à propos de « tourbillon », employé souvent à tort et à travers (*Cf.* plus loin, § 28, p. 70).

Digitized by Google

tains rapports avec la cycloïde ordinaire, et une circonstance un peu particulière permet de passer de l'une à l'autre : ces deux figures sont, en effet, deux *perspectives* différentes d'une même courbe gauche bien connue, l'*hélice circulaire*. On peut s'en rendre compte aisément en regardant, sous diverses incidences, un ressort à boudin, plus ou moins tendu.

Par là, il nous est montré, une nouvelle fois, qu'une même figure (la sinusoïde) peut résulter des processus les plus divers (mouvement ondulatoire simple, projection d'une hélice).

Rappelons, pour mémoire, que les perspectives ou *projections* d'un cercle donnent des *ellipses*. Et celles-ci forment une famille qui part du cercle, vu « de face », pour aboutir, par des ellipses de plus en plus aplaties, à un segment de droite, lorsque le cercle est regardé de plus en plus obliquement, jusqu'à être vu sous incidence rasante,

11. — TRANSFORMATIONS DE FIGURES.

Exemple. — Si l'on désirait se rendre compte, très exactement, de la forme d'une sinusoïde, on pourrait le faire d'une manière fort simple, et assez inattendue.

Prenons un seau à charbon, ordinaire. En langage géométrique, il est un segment de cylindre circulaire droit, compris entre deux plans : celui du bas, perpendiculaire à l'axe, et celui du haut, oblique à l'axe. Le plan du bas coupe le cylindre suivant un *cercle*. Le plan oblique, du haut, le coupe suivant une *ellipse*.

Supposons le fond enlevé, et fendons le seau en long, c'est-à-dire suivant une des génératrices du cylindre. Puis, ouvrons le seau, jusqu'à ce qu'il puisse être complètement développé et appliqué sur une table plane : le cercle de base se *développe*, suivant une droite, tandis que l'ellipse du haut se développe suivant un élément complet de sinusoïde (*fig.* 16).

En prenant des cylindres où l'obliquité de la section du haut serait différente ; en prenant pour base, ou *directrice* du cylindre, une courbe autre que le cercle ; ou en partant d'une surface initiale autre que le cylindre : cône, etc., on obtiendrait d'autres développements du même type, ou de types analogues, ou de types différents, dont il serait intéressant de suivre les modifications.

Digitized by Google

Ceci n'est autre que le principe des *tracés de chaudronnerie*, ou développement plan des assemblages de certaines surfaces simples.

On appelle *développables* les surfaces applicables sur un plan, et *développement*, leur développement plan. Les surfaces développables admettent, dans leurs contours, une infinité de droites, et peuvent être considérées comme engendrées par une droite, animée d'un

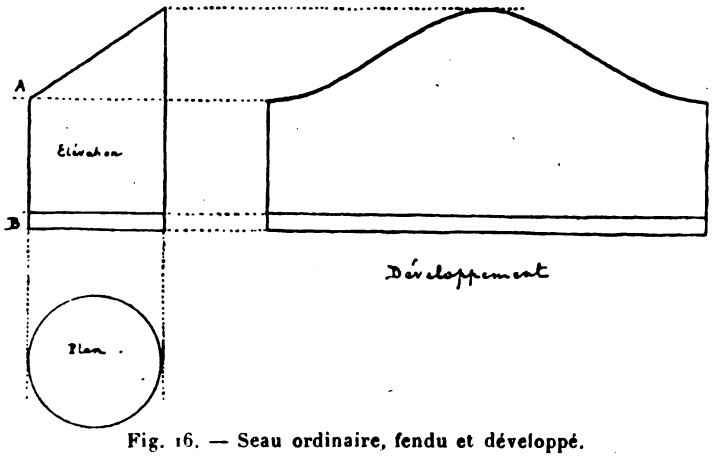


Fig. 16. — Seau ordinaire, fendu et développé.

mouvement déterminé. Elles font partie du groupe bien connu des surfaces *réglées*. Mais la réciproque n'est pas vraie, c'est-à-dire qu'une surface réglée n'est point, *a priori*, développable, et ne le devient que dans des conditions définies (1).

L'étude des développements plans, pour intéressante qu'elle soit, n'est qu'un tout petit cas particulier du problème capital des *transformations de figures*.

Lorsqu'on fait subir, à une figure donnée, des opérations variées, on appelle *transformées* les configurations résultantes, et *transformations* les opérations effectuées.

Déformation, que nous emploierons aussi, est synonyme de transformation.

Dans bien des questions, le *modus operandi* importe autant, et parfois davantage, que les figures de départ et d'aboutissement.

(1) Les surfaces réglées non développables sont dites *gauches*.

Digitized by Google

Ou plutôt, comme toute figure est toujours le résultat d'une certaine opération, on aperçoit qu'à la notion de Forme s'adjoint, tout naturellement, celle d'un *mode de génération*, et que la considération de l'une des deux notions est souvent utile à l'étude de l'autre.

Ce dernier membre de phrase sous-entend : si l'on est *certain* que telle forme proposée est bien due à telle opération morphologique, restriction *nécessaire*, parce que les liens de Forme à Opération n'étant nullement exclusifs, la connaissance de la première ne suffit point, ainsi que nous l'avons déjà signalé, pour déterminer la seconde.

Si maintenant on veut bien penser que le phénomène géométrique de la *Transformation* a, pour correspondants, en physique, le *Fonctionnement*, et en biologie, la *Fonction* [1], on voit comment ces deux notions s'introduisent dans l'étude des Formes, et l'on devine le rôle, très considérable, joué par les Transformations dans la plupart des sciences.

Nous en rencontrerons partout, au cours du présent exposé.

Pour le moment, nous nous bornerons à rappeler que nous avons déjà dit deux mots d'un cas simple de transformation : celle qui permet, dans une *famille* donnée, de passer continûment d'une forme à ses voisines. La famille des surfaces de la houle illustre un de ces cas-là. Or, il est impossible d'ouvrir un Traité de Paléontologie, d'Embryologie, d'Organogénie, etc., ou encore un Manuel de Technologie bien fait, donnant les étapes successives du façonnage d'un objet, sans voir immédiatement que tous ces Ouvrages traitent de transformations du même type, ou assez proches de ce type [2].

Autre exemple de transformation.

La pratique des transformations rend aisé le déchiffrage d'apparences dont le lien n'est pas toujours évident.

Par exemple, si, non averti, on trouvait les deux figures 17 et 18 [3], même rapprochées, comme ci-contre, il y aurait peu de chance pour

---

[1] Terme qui n'est qu'un nom particulier donné à un groupe de fonctionnements.

[2] L'étude des Chapitres de la Mathématique appelés *Transformations*, *Groupes*, *Analysis situs*, etc., intéresse *toute* la Morphologie.

[3] La figure 17 est empruntée au Chapitre III, et représente un phénomène naturel.

Digitized by Google

que leurs relations parussent frappantes, et l'on ne penserait pas que l'une dérive de l'autre. Mais un peu d'habitude fait soupçonner la transformation suivante :

Étant donnés une droite et un point, on peut, par une transformation définie (1), cintrer la droite autour du point, et en faire un cercle. La distance du point à la droite devient le rayon du cercle. Le cercle est donc grand si le point est éloigné, petit s'il est proche, et de rayon nul, c'est-à-dire réduit au point lui-même, si celui-ci est sur la droite.

Fig. 17.

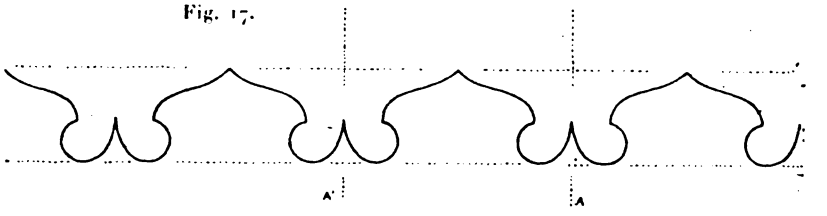
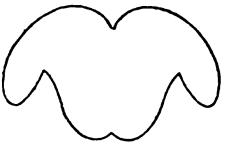


Fig. 18.



Si l'opération porte sur deux droites parallèles, formant une bande rectiligne, la transformée est un anneau plat, limité par deux cercles concentriques (un bon exercice consiste à tracer en couleur l'une des deux droites, et à voir comment la bande est cintrée vers le haut, ouvers le bas, suivant que le point est au-dessus ou au-dessous d'elle).

Enfin, si la bande porte un dessin, ce dessin sera entraîné dans la transformation, et subira diverses modifications, suivant que l'opération aura englobé un nombre plus ou moins grand de ses éléments.

La figure 18 résulte de 17 par une telle transformation, intéressant un seul élément A' A, le centre de transformation étant en dehors et au-dessus de la bande pointillée.

La transformation ayant intéressé un seul élément, celui-ci est assez modifié, et il faut, en effet, quelque habitude pour reconnaître

(1) Dite « polaire ».

Digitized by Google

tout de suite les points correspondants des figures 17 et 18. Mais la chose deviendra évidente si, pour une même position du centre, on prend les transformées intéressant deux, trois éléments, et si ensuite on effectue également les mêmes opérations pour l'autre côté de la bande, c'est-à-dire en cintrant vers le bas, après avoir cintré vers le haut. La figure 19 a groupé, en deux rangées horizontales, les

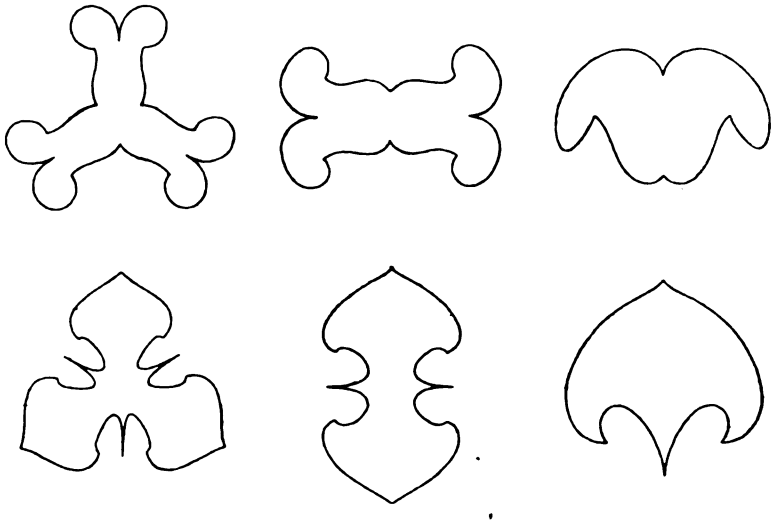


Fig. 19. — Six transformées de la figure 17.

transformées respectives pour 3, 2, et 1 éléments. En regardant d'abord la région supérieure de la rangée du bas, et la région inférieure de la rangée du haut, qui sont en apparence les moins déplacées [1], le regard est conduit sans heurt à la figure 18, de tout à l'heure, et qui, cette fois, est immédiatement compréhensible.

12. — ÉLÉMENTS D'UNE FORME.

Lors de la transformation de la figure 17, nous avons parlé de ses *éléments*, et il importe de préciser le sens de ce terme.

D'une manière générale, étant donnée une chose quelconque, on

[1] Par rapport à l'observateur, bien entendu, et non en soi.

Digitized by Google

appelle *élément* de cette chose chacune des choses partielles, dont la réunion ou la combinaison constitue la chose donnée.

Mais on ne distingue que par rapport à une certaine manière de voir ou de penser, et le terme d' « élément », compréhensif et variable, n'est jamais déterminé, en soi, d'une façon absolue. Il est, au contraire, fixé par un certain *choix*, et un exemple concret montrera tout de suite comment.

Considérons la figure 17. A une première analyse, elle est constituée par la *juxtaposition* de formes partielles, toutes pareilles. Nous y avions choisi, pour élément, le suivant (*fig.* 20) :

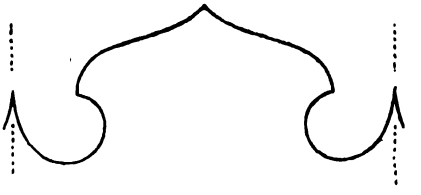


Fig. 20. — Un élément de la figure 17.

Mais il n'est pas le seul possible, et l'on pourrait prendre, pour premier élément, toute autre portion de courbe qui réalise cette condition de genèse par juxtaposition.

Considérons maintenant cet élément (*fig.* 20). Il admet un axe de symétrie vertical, et il résulte, par conséquent, de la répétition, par *symétrie*, de l'une quelconque de ses deux moitiés, par exemple celle de droite. Tel est le *nouvel élément* de la courbe donnée (*fig.* 21) :

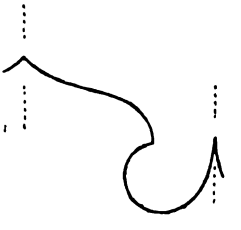


Fig. 21. — Un autre élément de la figure 17.

A son tour, considérons ce nouvel élément. On y distingue d'abord des points, dits *remarquables* : point anguleux *a*, point d'inflexion *i*,

Digitized by Google

tout de suite les points correspondants des figures 17 et 18. Mais la chose deviendra évidente si, pour une même position du centre, on prend les transformées intéressant deux, trois éléments, et si ensuite on effectue également les mêmes opérations pour l'autre côté de la bande, c'est-à-dire en cintrant vers le bas, après avoir cintré vers le haut. La figure 19 a groupé, en deux rangées horizontales, les

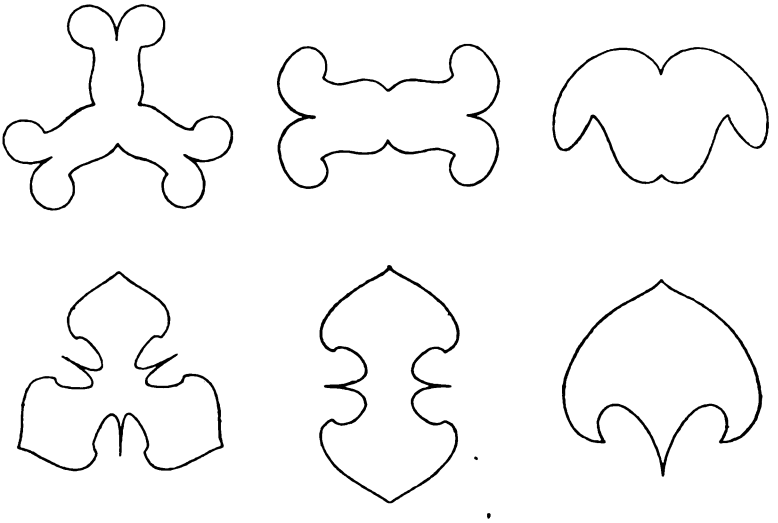


Fig. 19. — Six transformées de la figure 17.

transformées respectives pour 3, 2, et 1 éléments. En regardant d'abord la région supérieure de la rangée du bas, et la région inférieure de la rangée du haut, qui sont en apparence les moins déplacées [1], le regard est conduit sans heurt à la figure 18, de tout à l'heure, et qui, cette fois, est immédiatement compréhensible.

12. — ÉLÉMENTS D'UNE FORME.

Lors de la transformation de la figure 17, nous avons parlé de ses *éléments*, et il importe de préciser le sens de ce terme.

D'une manière générale, étant donnée une chose quelconque, on

[1] Par rapport à l'observateur, bien entendu, et non en soi.

Digitized by Google

appelle *élément* de cette chose chacune des choses partielles, dont la réunion ou la combinaison constitue la chose donnée.

Mais on ne distingue que par rapport à une certaine manière de voir ou de penser, et le terme d' « élément », compréhensif et variable, n'est jamais déterminé, en soi, d'une façon absolue. Il est, au contraire, fixé par un certain *choix*, et un exemple concret montrera tout de suite comment.

Considérons la figure 17. A une première analyse, elle est constituée par la *juxtaposition* de formes partielles, toutes pareilles. Nous y avions choisi, pour élément, le suivant (*fig.* 20) :

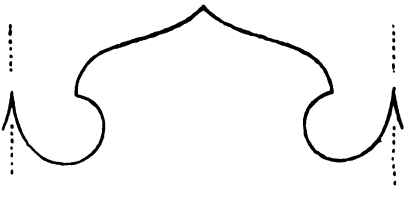


Fig. 20. — Un élément de la figure 17.

Mais il n'est pas le seul possible, et l'on pourrait prendre, pour premier élément, toute autre portion de courbe qui réalise cette condition de genèse par juxtaposition.

Considérons maintenant cet élément (*fig.* 20). Il admet un axe de symétrie vertical, et il résulte, par conséquent, de la répétition, par *symétrie*, de l'une quelconque de ses deux moitiés, par exemple celle de droite. Tel est le *nouvel élément* de la courbe donnée (*fig.* 21) :

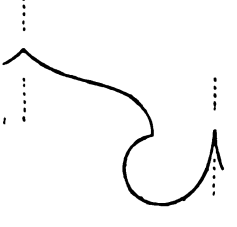


Fig. 21. — Un autre élément de la figure 17.

A son tour, considérons ce nouvel élément. On y distingue d'abord des points, dits *remarquables* : point anguleux *a*, point d'inflexion *i*,

Digitized by Google

autre point anguleux a', point de rebroussement r. Et, ensuite, les *arcs* qui les relient : arc $\widehat{ai}$, arc $\widehat{ia'}$, arc $\widehat{a'r}$. Points remarquables et arcs sont les *nouveaux éléments* de la figure 22 et par conséquent de la figure 17.

Mais ces arcs, eux-mêmes, ne sont qu'une suite de points, et, finalement, on arrive à cet *élément ultime* : en un point, la courbure de l'arc infiniment petit, ou *arc élémentaire*, ou *élément d'arc*.

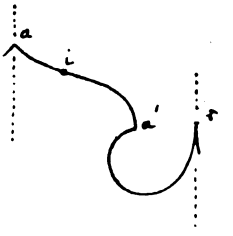


Fig. 22. — Points remarquables et arcs compris.

Juxtaposition, symétrie, points remarquables et arcs compris, point et courbure de l'arc infiniment petit : le choix de l'élément dépend surtout d'une question d'*échelle* (1).

Cette constatation fait penser, par association d'idées, à une circonstance très générale : dans une infinité de cas, les vérités énoncées ne sont valables qu'à une certaine échelle, qui, seule, leur donne un sens.

13. — LES DEUX ÉLÉMENTS PRINCIPAUX D'UNE MORPHOLOGIE.

L'examen des figures précédentes conduit à une remarque d'une grande importance pour l'analyse morphologique.

Prenons des formes, et observons comment elles sont modifiées, dans l'ensemble et dans le détail, par des transformations successives, de même nature, mais de degré varié.

Reportons-nous, par exemple, à la figure 17, et au tableau de ses six transformées (*fig.* 19) qui correspondent précisément à la question posée.

(1) Principalement, mais non pas exclusivement.

Digitized by Google

On constate d'abord que la disposition rectiligne d'ensemble a entièrement disparu, et a fait place à une disposition rayonnée.

On constate ensuite que les contours ont été, dans leur détail, diversement atteints. L'élément initial avait quatre points remarquables : deux points anguleux, une inflexion et un rebroussement (*fig.* 22). Chaque élément de transformée possède encore deux points anguleux, une inflexion et un rebroussement. Mais les arcs qui, dans la forme initiale, reliaient les points remarquables, ont subi de grandes modifications, et ce sont elles qui ont donné lieu à la nouvelle disposition d'ensemble.

En expérimentant avec d'autres formes, on retrouverait les mêmes résultats.

Toutes ces formes possèdent donc :

Une disposition d'ensemble, rayonnée, due à la transformation venue du dehors,

Et des points remarquables, liés à la nature même de la forme initiale;

Ou, d'une manière plus générale, ces formes possèdent : un *élément morphologique commun* (la disposition d'ensemble), dû à l'action d'un facteur morphologique commun, venu du dehors, élément variable avec ce facteur,

Et des *éléments morphologiques individuels* persistants, accents de détail (points remarquables), liés à la nature même, particulière, de la forme initiale en cause.

Éléments morphologiques communs, et actions du dehors; éléments morphologiques individuels, et propriétés individuelles : tels sont donc les deux éléments principaux de notre analyse morphologique actuelle.

Leur distinction est intéressante, parce que plus loin, à propos des relations entre la Forme et la Matière, on se trouve amené à distinguer aussi deux éléments principaux, correspondant aux précédents : *forme et fonctionnement communs, forme et fonctionnement individuels,* le premier groupe étant lié aux influences du dehors, et le second aux propriétés particulières de la matière mise en œuvre.

Et plus tard, avec les êtres vivants, les deux éléments, ou groupes principaux, deviennent : *propriétés acquises et adaptation,* liées aux

Digitized by Google

actions du dehors, *hérédité et propriétés innées*, liées à la nature particulière de l'individu.

Ainsi, dans la série des Formes, *tout entière*, se laissent donc distinguer, pour l'analyse morphologique, deux éléments fondamentaux :

Un élément lié aux *actions du dehors* (ou du milieu), et les révélant;

Et un élément lié aux *actions du dedans*, c'est-à-dire à la *nature particulière* de l'*individu* considéré, et la révélant.

Champ et validité de la discrimination précédente.

Une autre remarque intéressante surgit, lorsqu'on « discute » l'énoncé précédent, au sens donné à ce terme en sciences exactes, c'est-à-dire lorsqu'on examine entre quelles limites il est valable, et ce qu'il devient en dehors d'elles.

En reprenant la figure 19, qui donne un tableau des transformées de l'élément qui est détaché et isolé dans les figures 21 et 22, on voit que les transformées occupent un secteur, égal, successivement, à un sixième, à un quart, ou à une moitié de cercle, et l'on a une bonne idée de ce qu'est le *champ* d'une transformation : ici, ce champ va de un sixième de cercle à un demi-cercle.

La remarque du paragraphe précédent, faite pour ce champ-là, n'est pas, *a priori*, valable au delà.

Et, en effet, il suffit d'étendre le champ suffisamment, pour voir apparaître des modifications nouvelles. Avec les données de la ligne du bas, dans la figure 19, et un secteur d'opération allant jusqu'à un tour de cercle entier, on obtient la transformée suivante (*fig.* 23).

Pour la commodité de l'analyse, faisons figurer, côte à côte, l'élément initial de la figure 22, avec ses points remarquables *a*, *i*, *a'*, *r*, et l'élément transformé, où les points correspondants sont notés en majuscules : A, I, A', R. On voit aussitôt qu'il est *né* deux inflexions nouvelles I' et I'' (*fig.* 24).

Si, en partant de la figure 23, nous opérions en sens inverse (ce à quoi rien ne s'oppose), deux inflexions, I' et I'', *disparaîtraient*.

Les éléments ponctuels, déclarés individuels et persistants, ne le sont donc plus. Et alors, quel est l'intérêt de la distinction que nous avions faite entre les éléments morphologiques ?

Digitized by Google

Les choses se précisent aisément, si l'on n'opère pas trop brutalement :

Dans le champ, qui va de un sixième de cercle à un demi-cercle, les

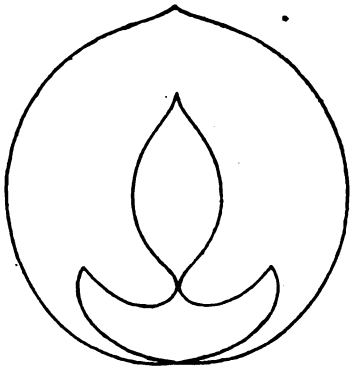


Fig. 23. — Autre transformée de la figure 17.

points *a*, *i*, *a'*, *r*, sont bien individuels et persistants. De même, en

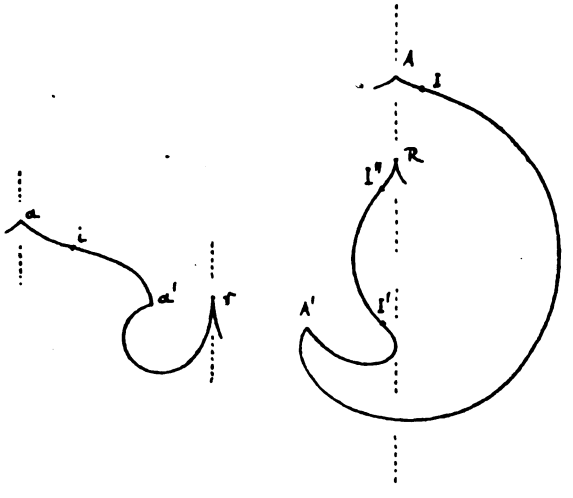


Fig. 24.

partant du nouveau stade (*fig.* 23), et en faisant varier *modérément* le champ autour de lui, non seulement A, I, A', R, mais I' et I''

Digitized by Google

aussi, sont devenus individuels et persistants, *pour ce nouveau champ modéré.*

Ainsi, les éléments, actuellement individuels et persistants dans un champ donné, sont des éléments, jadis variables, acquis dans un champ antérieur; et la *distinction* entre éléments communs, variables, acquis, et éléments individuels, fixes, transmis, est valable *seulement pour un certain champ de transformation.*

Cette restriction, en précisant les conditions de validité, ne diminue pas l'intérêt de la distinction, mais il ne faut jamais oublier deux choses :

Cet intérêt est tout relatif à un champ donné;

Entre les éléments considérés, les différences ne sont pas dans leur essence, mais seulement dans leur *rôle* à un moment donné.

La correspondance est complète entre ce qui précède et ce qu'on observe dans la nature.

Dans ce dernier cas, les facteurs de transformation sont fonction du temps, et au *champ de transformation* précédent correspond une *durée d'action*, et *ipso facto* une *durée d'observation.*

Or, il est bien certain que les appellations de « propriétés innées » et de « propriétés acquises » ne sont que des noms différents, donnés à des résultats d'actions du dehors qui ne sont pas contemporaines, et que leur distinction n'a de valeur que relativement à une certaine durée de l'observation.

Cette distinction réside, en effet, non dans une différence d'essence des choses, mais dans une différence d'intérêt qu'elles offrent pour l'observateur : il distingue, souvent sans en avoir conscience nette, par rapport à lui, et non par rapport aux choses, les phénomènes contemporains [1] à lui, de ceux qui ne le sont pas.

Aussi l'intérêt d'une telle distinction est-il tout relatif, et ne doit-il pas faire oublier celui, plus grand, de considérations plus objectives.

Pour celles-ci, l'*hérédité* apparaît comme le résultat d'actions du dehors, antérieures à l'époque où l'on observe. Non différente, en son essence, de l'*adaptation*, elle est une adaptation ancienne, fixée

[1] Contemporain ne s'entend pas, nécessairement, de la vie d'un seul et unique observateur.

Digitized by Google

dans la matière vivante, par la persistance des mêmes conditions. L'adaptation, d'ailleurs, n'est pas autre chose que la simple constatation d'un fait : le fait que la vie a été compatible avec la modification imposée.

Enfin, au point de vue qui nous occupe, la matière non vivante, même solide, ne diffère de la matière vivante que par une durée d'évolution en général très supérieure. Et l'on parle de *propriétés de la matière*, sans autre spécification.

On voit ainsi se dégager une très grande et belle unité dans la manière d'être de toutes les Formes.

Et nous verrons, en effet, que les éléments principaux, indiqués ici pour l'analyse morphologique, se retrouvent à chacune de ses étapes.

14. — PARABOLES.

On pourrait ne parler que pour mémoire des *paraboles* des cascades et des jets d'eau. La parabole est la trajectoire d'un projectile animé d'une faible vitesse, dans un air calme. Le centre d'une balle de tennis décrit une parabole. (Cependant, si la balle est « coupée », c'est-à-dire lancée par un coup de raquette qui lui imprime un violent mouvement de rotation, la trajectoire du centre est une courbe *gauche*, moins élémentaire, mais toujours définie.)

Lancé d'un même point, avec la même vitesse initiale, sous un angle de départ variable, un projectile a des trajectoires plus ou moins ouvertes, plus ou moins pincées. Lancé d'un même point, sous un même angle de départ, avec une vitesse initiale variable, ses trajectoires sont plus ou moins tendues. Ce sont toujours des paraboles [1].

Ainsi, les figures peuvent varier, et parfois varier beaucoup, sans cesser d'appartenir au même *type*. Le propre d'un œil sensible est de savoir reconnaître, sous des apparences diverses, la même loi.

15. — FORMES SEMBLABLES.

Cette remarque est d'une application incessante. Il est excep-

[1] En négligeant les modifications dues à la résistance de l'air, sensibles à partir d'une certaine vitesse initiale.

Digitized by Google

tionnel, en effet, de se trouver en présence de formes d'un même type, qui soient simplement *semblables*, c'est-à-dire que l'on puisse superposer par un agrandissement (ou une réduction) approprié [1]. Les *cercles* sont, dans ce cas, les cycloïdes, les *chaînettes*, que nous verrons dans un instant, et beaucoup d'autres courbes encore. Mais, *en général*, les variations qui permettent de passer d'une forme à ses voisines, dans le même type, sont plus compliquées.

16. — HYPERBOLES.

Si l'on approche d'un mur bien plan une lampe Pigeon, tenue

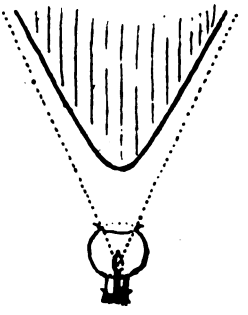


Fig. 25. — Hyperbole (lampe approchée d'un mur).

droite, son cône de lumière, coupé par le mur, y dessinera une

Fig. 26. — Autre hyperbole (Mur de l'École des Mines, Paris).

plage claire, délimitée par une courbe élégante, l'*hyperbole* (*fig.* 25) :

---

(1) Agrandissement, et réduction, sont pris ici dans le sens particulier indiqué § 26, p. 60.

Digitized by Google

Qu'on aille voir ensuite le mur de l'École des Mines, devant lequel est tombée une bombe d'avion. Les fragments projetés par l'explosion étaient répartis à l'intérieur d'un cône, eux aussi, et leurs points d'impact sur le mur sont distribués suivant une courbe, plus ouverte que la précédente, mais qui est également une hyperbole (*fig.* 26).

17. — CHAINETTES.

Une chaîne, ou un fil pesant, parfaitement flexible, accroché à deux supports, et abandonné à lui-même, prendra une forme qui, elle aussi, est définie. C'est la *chaînette* (*fig.* 27).

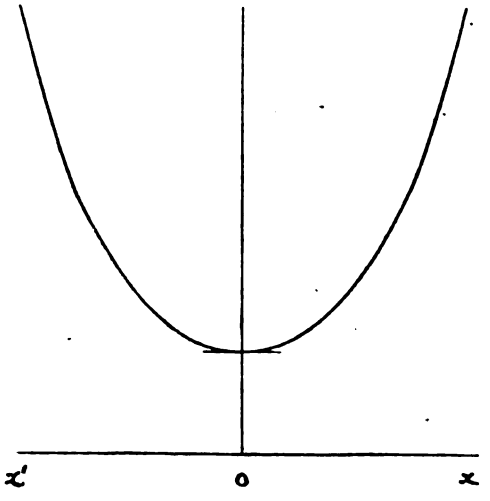


Fig. 27. — Chaînette.

On trouve cette courbe dans quantité de lustres. On la retrouve, plus ou moins nette, dans les plis des rideaux et des draperies. Un très bel exemple en est donné par une statue japonaise, en bois peint, du XVIII^e^ siècle, représentant un prêtre bouddhiste assis. Les chaînettes y sont nombreuses, et parfaitement dessinées. De leurs accents, nous pouvons même en conclure que le vêtement du modèle était une soie très fine (*fig.* 28).

Les voiles des navires donnent la même figure : une voile rectan-

Digitized by Google

gulaire, maintenue verticale par deux vergues parallèles, et gonflée

Fig. 28. — Prêtre bouddhiste japonais. Bois peint du XVIII[e] siècle.
(Musée Guimet, Paris.)

par un vent régulier, prend la forme d'un cylindre. dont la section droite est une chaînette.

Digitized by Google

18. — ÉLASTIQUES.

Si nous prenions une longue bâche rectangulaire, de toile souple, et qu'en la fixant à deux barres, maintenues parallèles et horizontales, nous en fassions, après en avoir fermé les extrémités, une sorte d'auge, puis que nous la remplissions d'eau, le cylindre qui se formerait aurait une section droite de forme un peu différente, appelée ***lintéaire.***

Lintearia, en latin, veut simplement dire : de toile. On sera mieux

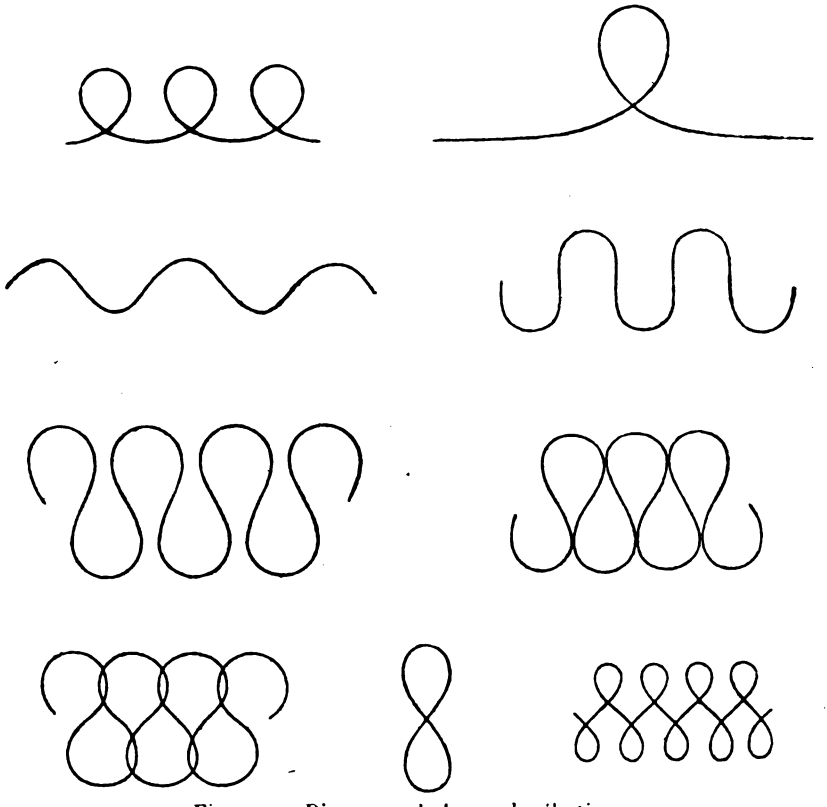


Fig. 29. — Divers cas de la courbe élastique.

renseigné si l'on sait que la lintéaire est un cas particulier de l'*Elastique*, configuration que donne, à une tige élastique, un effort appliqué à ses extrémités.

Digitized by Google

Un grand nombre de cas peuvent se présenter pour l'Élastique, qu'on étudie dans un chapitre spécial de la Mécanique. Les formes correspondantes, très variées, ont une allure caractéristique (*fig.* 29).

En observant certaines sangsues de l'Inde, ou certains vers de nos pays, qui se bouclent, puis se détendent comme des ressorts, il ***semble*** bien que la fibre moyenne de leur corps illustre des cas de l'Élastique (*fig.* 30). Toutefois, ceci n'est ***pas démontré.***

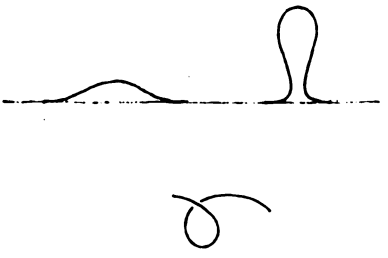


Fig. 30.

D'autres cas sont mieux connus. Le profil de la surface liquide qui, par capillarité, s'élève le long d'une paroi plane ou cylindrique, qu'elle mouille, est une portion d'Élastique.

Il en est de même, lorsqu'une goutte repose, en s'aplatissant un peu, sur un support qu'elle ne mouille pas (*fig.* 31).

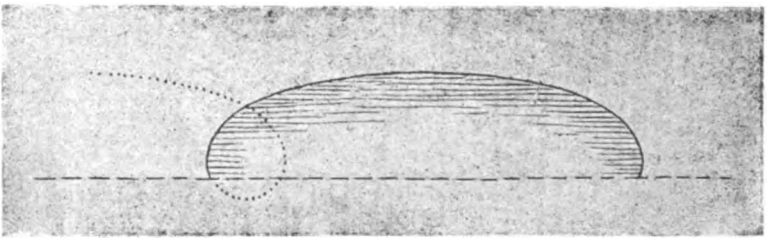


Fig. 31. — Goutte aplatie.

Dans la nature vivante, beaucoup de membranes plus ou moins souples, formant surface de raccordement entre des parties plus dures, se rapprochent de l'Élastique.

La membrane peut être fixée définitivement par un dépôt minéral

Digitized by Google

superficiel, sans que sa forme change : d'Arcy W. Thompson (1) a fait remarquer que de grosses gouttes, à divers degrés d'aplatissement, sont réalisées, dans la mer, par la coque, ou test. de plusieurs

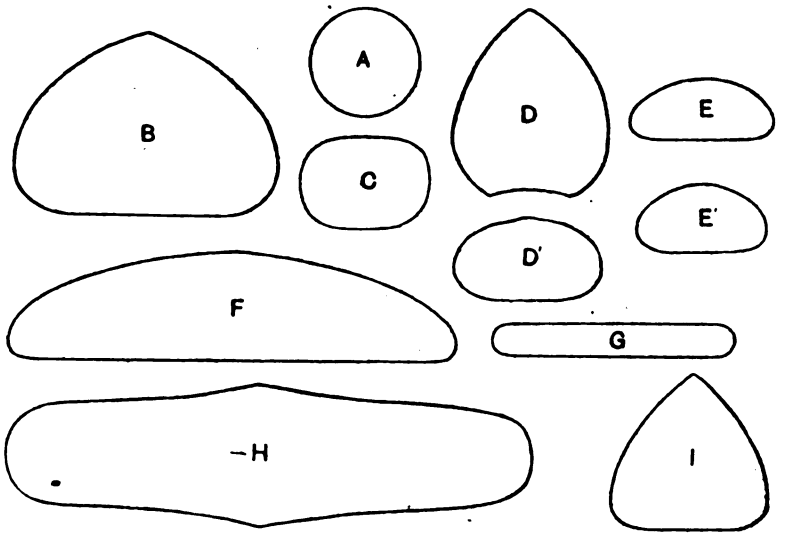


Fig. 32. — Sections verticales, schématiques, de divers Oursins (d'Arcy W. Thompson).

variétés d'Oursins, en exceptant la modification locale, présentée par certaines d'entre elles au sommet anal : les Oursins vivants se tiennent la bouche en bas (*fig.* 32).

19. — FORMES D'ÉQUILIBRE DES LIQUIDES.

La structure hétérogène de l'Oursin complique son cas.

Si l'on suppose avoir affaire à un liquide homogène, pratiquement soustrait à l'action de la pesanteur, et en équilibre, on se trouve en face du problème traité par le physicien belge Plateau, dans son célèbre ouvrage sur la *Statique des liquides* (2).

(1) *Growth and Form* (Cambridge, University Press, 1917). Nous aurons l'occasion de citer plusieurs autres fois cet excellent Ouvrage, dont le champ est fort étendu, et qui est riche en aperçus très suggestifs.

(2) Paris, Gauthier-Villars, 1873.

Digitized by Google

Les recherches de Plateau n'ont pas eu, simplement, l'avantage de faire connaître une classe nouvelle de Formes. Elles en ont indiqué la réalisation matérielle, et ont montré les attaches directes, avec le monde physique, de spéculations mathématiques, qu'on eût pu croire ne devoir intéresser que les seuls géomètres. Et les applications de ces recherches à la morphologie des êtres vivants se révèlent, ainsi qu'on le verra, plus nombreuses et plus importantes chaque jour.

Surfaces à courbure moyenne constante, et surfaces minima.

Les surfaces étudiées par Plateau sont essentiellement les surfaces *à courbure moyenne constante*, en y comprenant les cas où la valeur de la constante est *nulle*.

Il n'est pas possible d'expliquer ici pourquoi. Qu'il suffise de dire :

« Que lorsque la constante n'est pas nulle, la surface correspondante est d'étendue moindre que toutes les surfaces très voisines, comprenant le même volume, et terminées aux mêmes limites;

» Que lorsque la constante est nulle, la surface est. toujours, sans s'occuper du volume compris, moindre que toutes les surfaces très voisines, terminées aux mêmes limites. »

Et que cette qualité, pour les unes comme pour les autres, de présenter une étendue ou aire minima, correspond à une propriété physique de la couche superficielle de tout liquide, qui fonctionne comme une membrane tendue, et, par conséquent, prend toujours une configuration correspondant à la plus petite aire possible.

Les surfaces à courbure moyenne *nulle*, dont l'aire est minima d'une manière absolue, sont appelées *surfaces minima*.

Les surfaces à courbure moyenne constante, constante non nulle, n'ont pas reçu de dénomination propre. Pour abréger l'écriture, nous les désignerons par les lettres CMC : *surfaces* CMC.

On se rend bien compte, d'ailleurs, d'après ce qui vient d'être dit, qu'elles sont de nature toute semblable aux surfaces minima, et *qu'au point de vue physique*, qui nous occupe, *elles leur sont équivalentes*.

Digitized by Google

20. — SURFACES MINIMA, ET CMC, DE RÉVOLUTION.

Plateau a indiqué le moyen de réaliser autant de surfaces minima, ou CMC, qu'on le désire. Elles sont en nombre illimité, de sorte qu'il n'est question ni de les décrire, ni de les dénommer.

Mais, parmi elles, un groupe important est constitué par celles qui sont de *révolution*.

Nous avons déjà rencontré des formes particulières qui pouvaient glisser sur elles-mêmes. On appelle corps *ronds*, ou de *révolution*, ceux qui pourraient *tourner* sur eux-mêmes, autour d'un axe, tels les vases tournés par le potier. Non seulement ils sont symétriques dans tous les plans passant par l'axe, mais ils peuvent aussi être considérés comme engendrés par la rotation, autour de l'axe, d'un profil, invariablement lié à lui, et qu'on appelle leur *méridienne* [1].

Rappelons une nouvelle fois qu'une telle relation génératrice, pour exacte qu'elle soit, et intéressante morphologiquement, n'a aucun caractère *nécessaire*. C'est-à-dire qu'elle n'est exclusive d'aucun autre mode de génération, toujours possible, et qu'elle ne permet de préjuger en rien de la genèse d'une telle forme, lorsqu'elle est réalisée dans la nature. Ce n'est pas le lieu de développer ici les distinctions à faire entre les domaines statique, cinématique et dynamique, et les conditions sous lesquelles on peut, ou l'on ne peut pas, passer de l'un à l'autre. Ces notions se préciseront peu à peu, au cours de ce qui suit. Mais l'avis précédent est utile à donner le plus tôt possible, parce que beaucoup des critiques qu'on entend souvent adresser aux sciences exactes, devraient, en bonne justice, s'adresser aux erreurs de méthode de ceux qui, parfois, les jugent sans les connaître, ou tout au moins les appliquent sans discernement suffisant.

Plateau a démontré que les surfaces-types CMC *de révolution* sont au nombre de six, et qu'elles ont entre elles une certaine parenté, c'est-à-dire qu'on peut passer de l'une à l'autre par variation continue.

---

[1] Sous-entendu : courbe ou section.

Digitized by Google

Nous en connaissons déjà trois : le *plan*, la *sphère*, et le *cylindre de révolution.*

Les trois autres sont : l'*onduloïde*, un *caténoïde* et le *nodoïde*. Leurs méridiennes respectives, courbe ondulée, chaînette, courbe à

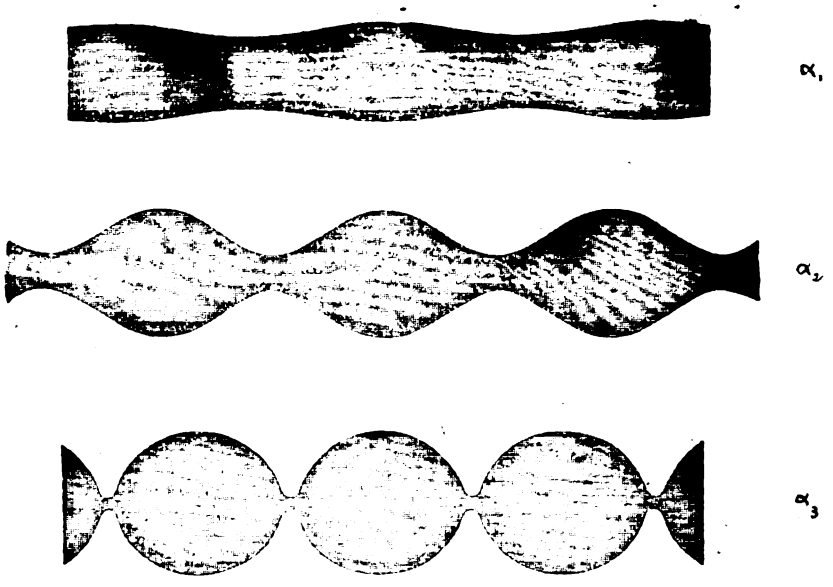


Fig. 33. — Sections méridiennes d'onduloïdes (Plateau).

nœuds (1), ont des liens, l'une avec l'ellipse, l'autre avec la parabole, et la troisième avec l'hyperbole. Nous nous bornons à les mentionner.

Mais la circonstance connue qui permet de passer continûment du cercle à l'hyperbole, en rencontrant l'ellipse et la parabole, ou qui permet de passer continûment de l'une quelconque de ces quatre courbes à la droite, fait deviner qu'il y a également des « passages » continus entre les surfaces CMC de révolution, qui constituent ainsi une *famille de surfaces.*

(1) On les appelle aussi : courbes de Delaunay, ou roulettes de Delaunay.

Digitized by Google

De ces six types de surfaces, le plan et le caténoïde sont, en outre, minima.

Onduloïdes — La méridienne de l'*onduloïde* est une certaine courbe définie, ondulée ([1]). La surface se compose d'une suite illimitée de renflements et d'étranglements (*fig.* 33).

Lorsque les ondulations s'allongent, et diminuent d'amplitude, la surface tend vers un cylindre de révolution : α_1, puis α_0.

Lorsque, au contraire, ce sont les étranglements qui s'accentuent, l'onduloïde tend vers une suite illimitée de sphères égales, tangentes, pareilles aux grains d'un collier : α_3, puis α_4 (α_0 et α_4, étant des formes connues de tous, ne sont pas dessinées sur la figure 33).

Il va de soi que, allongé ou étranglé, le galbe des ondulations est toujours d'un type spécial, défini, et qu'une ondulation *quelconque* ne répondrait pas du tout à la question.

Fig. 34. — Segment d'onduloïde (plâtre)
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

La figure 33 montre ce passage progressif au cylindre, ou à la file de sphères. La figure suivante est la photographie d'un segment d'onduloïde, réalisé (*fig.* 34).

([1]) *Cf.* la Remarque du paragraphe 8, p. 15, 2e alinéa, les trois premières lignes.

Digitized by Google

Caténoïde. — Le *caténoïde minimum* a pour méridienne une chaînette. Il résulte de la rotation de la chaînette (*fig.* 27), autour

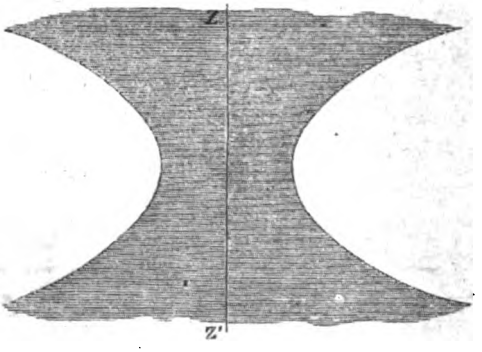


Fig. 35. — Caténoïde minimum (Section méridienne).

de la droite x' O x, appelée sa *directrice* (*fig.* 35). La figure 36 est la photographie d'un modèle, réalisé.

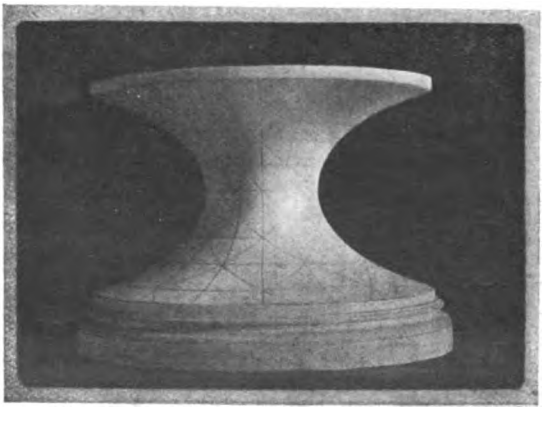


Fig. 36. — Segment de caténoïde minimum (plâtre)
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

On peut montrer que le caténoïde minimum est, d'une part, une

Digitized by Google

troisième limite pour l'onduloïde, et qu'il est, d'autre part, une limite pour le nodoïde. Par lui, on passe de l'un à l'autre.

Nodoïdes. — On appelle *nœud*, en géométrie, le point d'intersection

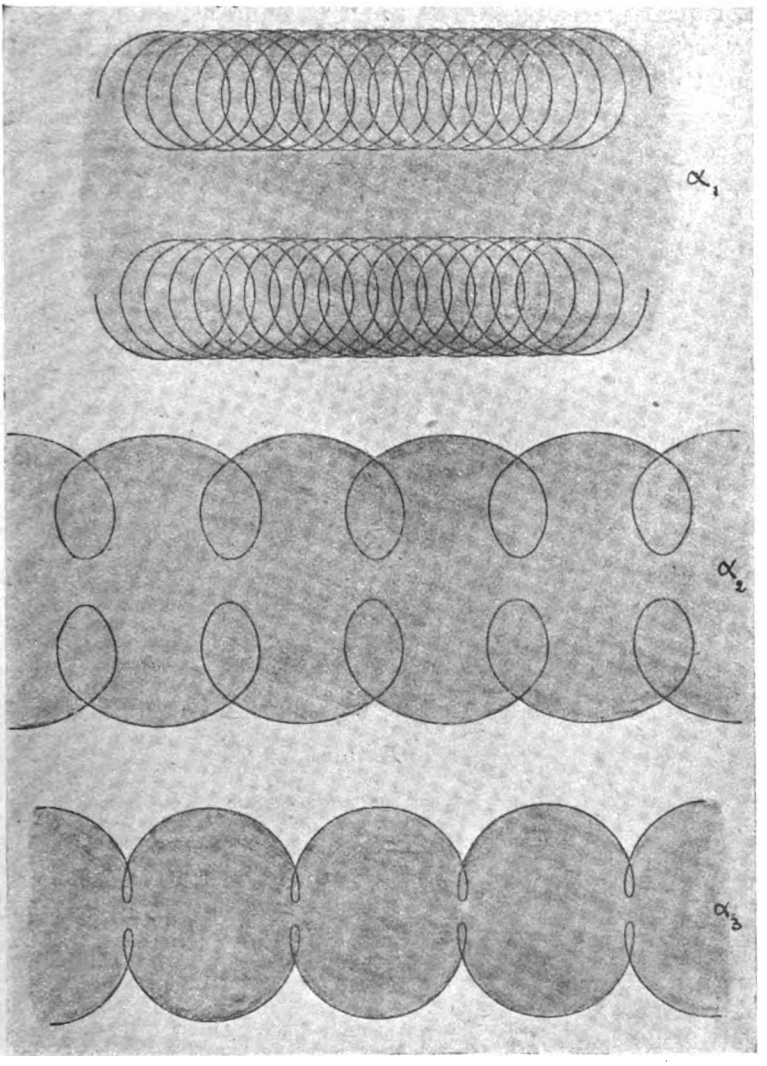


Fig. 37, — Sections méridiennes de nodoïdes (Plateau).

de deux ou de plusieurs branches de courbe. Une courbe à nœuds

Digitized by Google

est donc une courbe à boucles. Telle est la méridienne qui donne au *nodoïde* son nom. La surface résultant de sa rotation offre au regard une suite illimitée de renflements, séparés par des sillons transversaux (*fig.* 37).

Lorsque les arceaux entre les boucles diminuent, et que les boucles, en croissant, empiètent les unes sur les autres, la surface tend vers l'aspect d'un cylindre de révolution (*fig.* 37, α_1, puis α_0).

Lorsque, au contraire, les arceaux entre les boucles croissent, et que celles-ci diminuent, la surface tend vers une suite illimitée de sphères égales, tangentes : α_3, puis α_4 (même remarque que tout à l'heure pour α_0 et α_1).

La figure 37 montre ces étapes successives, et la figure 38 un segment de nodoïde, réalisé.

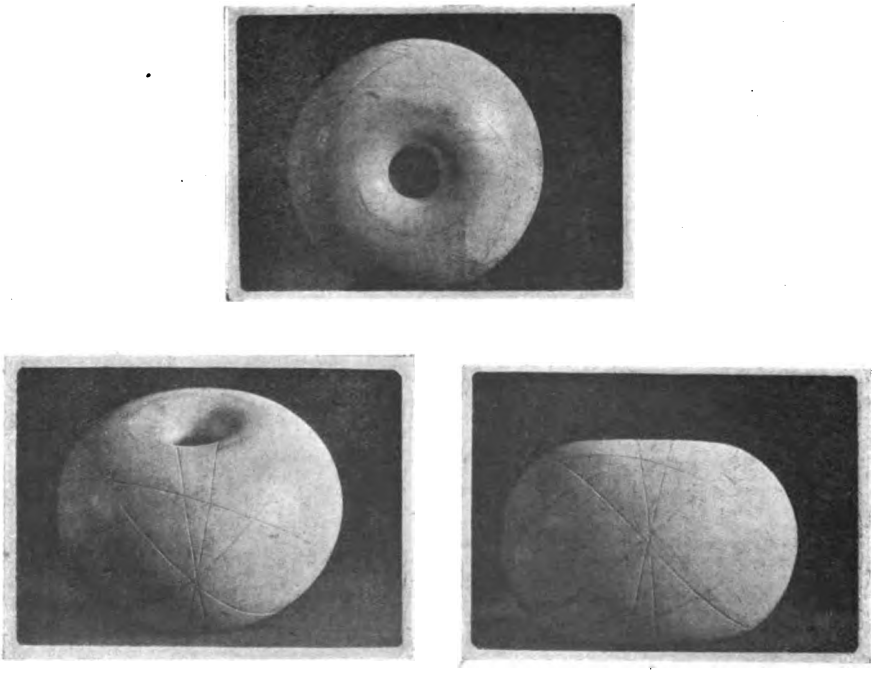


Fig. 38. — Segment de nodoïde (plâtre)
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

On n'oubliera pas que les boucles de la méridienne engendrent une sorte de bourrelet, intérieur à l'enveloppe extérieure visible.

Digitized by Google

Le dessin (*fig.* 39) complète heureusement les figures précédentes.

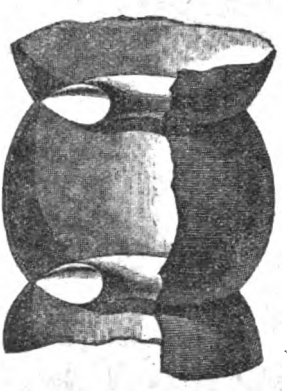


Fig. 39. — Dessin de segment de nodoïde, montrant le bourrelet intérieur (Cesàro).

Plateau, dans ses expériences, a pu réaliser ce bourrelet, isolé.

Remarque.

On peut faire remarquer, à ce sujet, que, dans la nature, des réalisations *partielles* de formes définies paraîtront survenir plus souvent que leurs réalisations *complètes*, en raison du nombre des facteurs physiques qui viennent compliquer l'analyse théorique.

De plus, partielles ou complètes, s'il est possible de trouver, dans la nature, sous certaines conditions, des formes définies réalisées isolément, il est plus fréquent encore d'avoir affaire à un groupement de plusieurs d'entre elles, voire même d'un très grand nombre (1). Dans ce cas, il faut s'attendre à ce que toutes aient subi une déformation plus ou moins notable, qui rende à leur groupement l'unité qu'une simple juxtaposition n'assurerait pas.

Un troisième point à noter est que ce qui précède ne concerne que des liquides supposés homogènes, et de surface propre. Or, ceci

(1) Agrégats cellulaires, tissus, organes, organismes, colonies animales, etc.

Digitized by Google

est un cas limite, rarement rencontré en pratique, où la surface des liquides est toujours plus ou moins contaminée ou souillée. Il y a même un « passage » progressif allant d'une surface liquide propre à une membrane rigide, en passant par des surfaces diversement souillées de particules étrangères, et il peut y correspondre des modifications pour leur forme.

De sorte que lorsqu'il nous arrivera de dire qu'un organisme ou qu'une portion d'organisme « revêt telle ou telle forme définie », ce sera *toujours* sous la réserve de modifications éventuelles, sous-entendues ou non (1).

Ceci ne devra donc jamais être perdu de vue, et l'étude méthodique des phénomènes de déformation doit être considérée comme tout à fait essentielle.

Enfin, il faut spécifier qu'il est indifférent de supposer ici le liquide placé d'un côté ou de l'autre de la surface d'équilibre : les résultats trouvés sont vrais, que la figure soit pleine ou creuse, ou réduite à une simple membrane, comme en présentent, si souvent, les êtres vivants.

Si, maintenant, on veut bien penser que, dans les organismes, la partie vivante, le protoplasme, est une gelée assez fluide, dont le coefficient de viscosité n'est même pas très élevé, on aperçoit bien vite que des organismes assez petits pour être approximativement homogènes, et en équilibre dans le milieu où ils vivent, doivent prendre des formes, dont beaucoup seront, sinon identiques, du moins assez proches des formes définies données par la Statique des liquides.

Et avec l'étude des déformations, on pressent comment on pourra espérer déchiffrer les changements, si nombreux, qui accompagnent, chez tout être, le passage de l'état de détente à celui de tension, ou de l'état de repos à celui de mouvement, sans parler des transformations, beaucoup plus complexes, dues à la croissance et à l'évolution individuelle.

Exemples.

Il est très remarquable de constater que les recherches abstraites

(1) *Cf.* aussi la *Remarque* du paragraphe 31, Chapitre II, page 113, troisième alinéa.

Digitized by Google

de la géométrie infinitésimale, et les travaux délicats, déjà anciens, de physique moléculaire, trouvent aujourd'hui leur illustration la plus directe et la plus attachante dans les formes des êtres vivants.

Les *Vorticelles* sont des Infusoires ciliés, petits organismes unicellulaires, fixés à des plantes aquatiques. Au bout d'une tige fine (pédoncule) contractile, se trouve une cupule transparente, dont l'orifice libre, épaissi, est un anneau cilié. D'A. W. Thompson (1) a noté que le profil de la cupule, un renflement entre deux étranglements, rappelle une portion d'onduloïde, développé entre deux anneaux, un petit et un grand : la tige, et l'anneau épaissi de l'orifice. Et la cupule semble offrir des variétés de l'onduloïde, depuis l'allongé jusqu'au globuleux, presque sphérique (*fig.* 40).

La question, d'ailleurs, doit être considérée comme indiquée, et non comme résolue, en raison de la présence, à la surface de la cupule, d'un réseau de fibrilles contractiles (2), qui complique le problème.

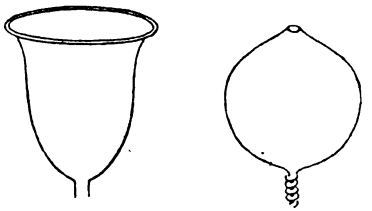


Fig. 40. — Vorticelle en état d'extension, puis contracté (Delage et Hérouard).

D'autres Infusoires, fixés ou non, en offrent autant, et aussi les *Flagellés*, groupés en colonie arborescente, où chaque individu est logé dans un petit calice.

Partout d'ailleurs où se présentent des cupules, ou calices, on peut rencontrer des onduloïdes, ou des formes proches d'onduloïdes, même auprès d'animaux plus grands et plus compliqués, tels que les *Hydroïdes*, qui sont des colonies de polypes, et les *Siphonophores*, qui sont des colonies de *méduses*.

La figure 41 montre, sur un tronc tubulé, rampant, ramifié, et

(1) *Loc. cit.*

(2) *Cf.* plus loin, Chapitre II, § 29, fig. 81, p. 98.

Digitized by Google

commun, trois polypes nourriciers dressés sur une longue tige. Ils ont un estomac, une bouche et des tentacules, et peuvent, en se rétractant, rentrer à demi dans une cupule hémisphérique. A leur

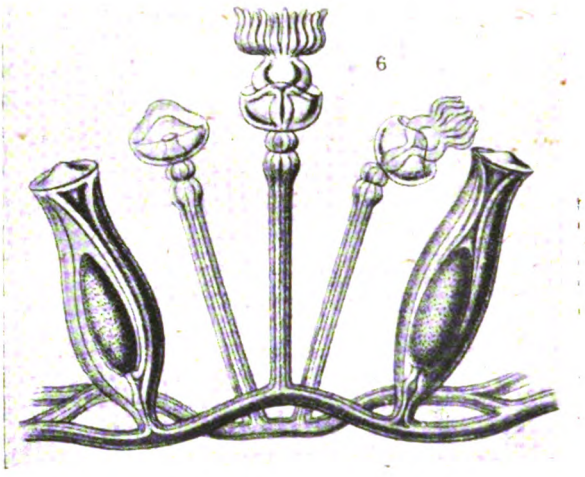


Fig. 41. — Polype (*Hypanthea hemisphærica*) (Haeckel).

droite et à leur gauche sont deux polypes reproducteurs, tout différents, contenus dans un réceptacle, dont le profil est un onduloïde allongé, assez net.

Remarque.

Le polype nourricier semble bien être le prototype d'où les autres polypes dérivent par modifications successives. Dans les Hydroïdes et les Siphonophores compliqués, il peut exister quatre ou cinq types d'individus différents, ayant subi une *différenciation morphologique*, liée à une *différenciation fonctionnelle*. Considérés en eux-mêmes, ces polypes sont des individus ordinaires, plus ou moins modifiés. Considérés par rapport à la colonie, ils en sont les *organes*. Dans toute la série vivante, on peut suivre ainsi les associations d'organes, groupés sur un tronc commun, étudier le degré de leur individualité et de leur dépendance mutuelle, et noter les variations morphologiques concomitantes.

Digitized by Google

Il ne s'agit point du tout, dans notre pensée actuelle, de savoir jusqu'où il convient, ou non, d'assimiler un organisme complexe à une colonie animale. Ce qui nous intéresse ici est la grande question des correspondances fonctionnelles et morphologiques. Elle sort des préoccupations de ce premier Chapitre. Mais nous la retrouverons plus tard, sous un aspect un peu différent, dans les recherches récentes de morphologie humaine.

Exemples (*suite*).

Les cupules dont nous avons parlé sont nues, et plus ou moins flexibles. Mais cette condition n'est nullement indispensable à la présence d'une forme définie connue. On trouve des onduloïdes chez d'autres Infusoires, comme les *Tintinnoïdes*, dont la cupule est souvent parsemée de concrétions siliceuses.

Sans que le type de la forme change, les concrétions peuvent envahir progressivement toute la surface, et s'y souder en une coque rigide (*Foraminifères*); ou bien elles peuvent se développer dans l'épaisseur de la paroi. Le sac de certaines *Éponges calcaires* appartient au second cas, et ressemble parfois assez bien à un onduloïde, telle l'*Ascilla gracilis* (*fig.* 42).

Mais les *Foraminifères monothalames* [1], du premier cas, offrent quelque chose de beaucoup plus net. Beaucoup d'entre eux sont en forme de goutte ronde isolée; ou de goutte allongée, avec ou sans étranglement; ou de goutte pendante, c'est-à-dire à partie renflée, surmontée d'un col plus ou moins effilé. Ces formes rappellent de près des combinaisons de sphères et d'onduloïdes, définies.

Une vérification précieuse serait de pouvoir réaliser expérimentalement des combinaisons de sphères et d'onduloïdes incontestables, et de les comparer aux précédentes. Or, on le peut déjà avec du *verre*, et surtout avec du *ciment de ciseleur* [2], qui fond avant 100°, et qu'on prépare à divers degrés de viscosité. Mais la meilleure expérience, parce qu'elle évite toute intervention humaine, est faite par les volcans : les gouttes de *lave*, assez fluides, montrent toutes sortes de combinaisons de sphères et d'onduloïdes, avec ou sans défor-

(1) Du grec *thalamos*, chambre : à une seule logette.

(2) Mélange de ciment de fontainier, de suif, de poix, de goudron et d'huile.

Digitized by Google

mation adventice. L'illustration suivante (*fig.* 43), que je dois à l'obligeance de M. le Prof[r] Alfred Lacroix, est la photographie de gouttes de lave, de quelques millimètres de longueur, provenant des îles Hawaï.

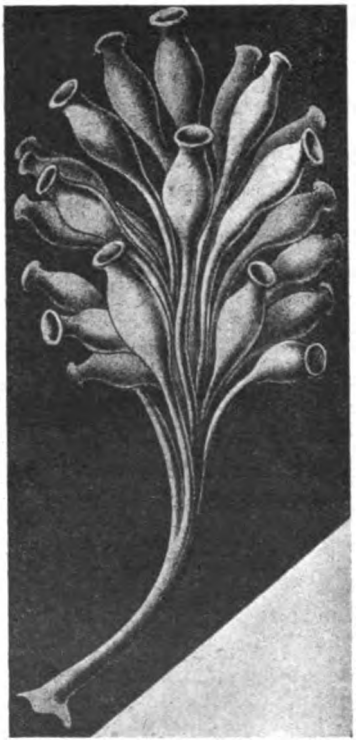


Fig. 42. — Éponge calcaire (*Ascilla gracilis*) (Haeckel).

La ressemblance de ces gouttes de lave avec des coques de Foraminifères monothalames est évidente : nous avons choisi la première et la troisième goutte de la rangée du bas, dont le contour est le plus différencié, et nous avons noté, parmi d'autres, plusieurs espèces de Foraminifères, dont la coque est en cette même forme de petite bouteille, et dont voici les silhouettes (*fig.* 44).

Il ne faudrait pas, répétons-le, identifier et confondre, sans précaution, la détermination d'une forme avec celle d'un mécanisme fonctionnel. Forme et Fonction sont, certes, en des rapports

Digitized by Google

étroits, qui se préciseront ici même peu à peu, mais qui ne sont pas *exclusifs* : une même forme peut correspondre à des processus diffé-

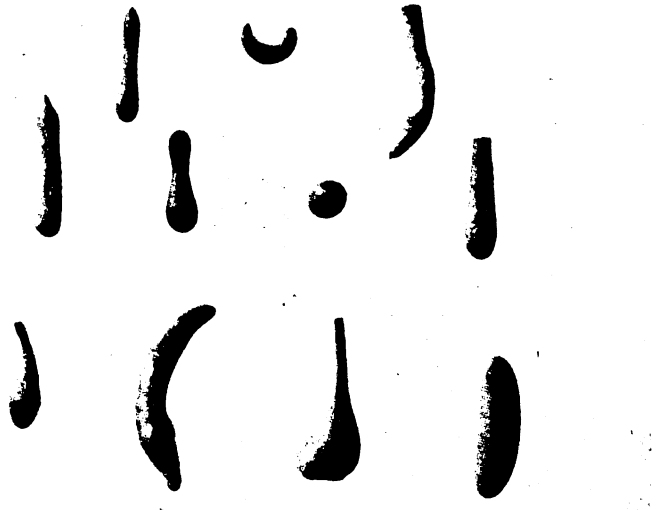


Fig. 43. — Gouttes de lave (Hawaï).

rents, et, réciproquement, des processus très voisins peuvent conduire à des formes très différentes. Il est bien certain que la genèse d'une

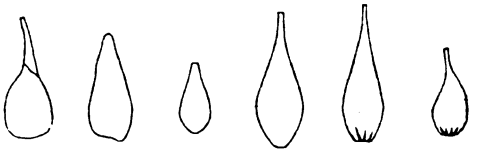


Fig. 44. — Silhouettes de Foraminifères monothalames (Brady).

coque de Foraminifère a peu de chose à voir avec la projection d'une goutte de lave. Mais il est tout aussi certain que la présence de sphères et d'onduloïdes est une donnée importante pour le déterminisme morphologique des Foraminifères.

Digitized by Google

On connaît moins d'exemples de caténoïde et de nodoïde. D'Arcy W. Thompson cite un *Trichodina pediculus*, parasite de l'*Hydre* d'eau douce, qui, schématiquement, a la forme d'une poulie pleine, à gorge moyennement profonde. Lorsque les deux faces de la poulie sont bien planes, le profil de la gorge est pareil à une chaînette; et lorsqu'elles se déprimment légèrement, la chaînette tend vers le nodoïde voisin, ou vers l'onduloïde : on sait qu'elle permet de passer de l'un à l'autre (*fig.* 45).

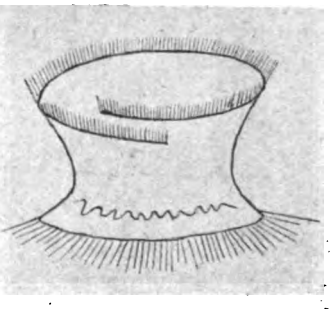


Fig. 45. — *Trichodina pediculus* (schéma) (d'Arcy W. Thompson).

La rareté des caténoïdes et des nodoïdes observés est d'ailleurs sans signification. Demain peut en apporter de nombreux exemples.

Un des avantages des figures de révolution est d'être simples (1). Mais les autres formes définies, comme aussi leur réalisation dans la nature, sont en nombre illimité.

Et en pensant aux phénomènes de déformation, nous allons voir surgir de nouveaux types intéressants.

21. — HÉLICOÏDES ASSOCIÉS AUX SURFACES CMC ET MINIMA, DE RÉVOLUTION.

En mettant de côté provisoirement (nous verrons pourquoi) le cylindre de révolution, aux cinq surfaces précédentes correspondent cinq *hélicoïdes* simples, de la manière suivante.

---

(1) Leur étude, d'autre part, tire son importance d'éléments connus des géomètres, mais dont l'énoncé ne peut trouver place ici.

Digitized by Google

Si une *droite* est perpendiculaire à un axe, et tourne uniformément autour de lui, elle décrit un *plan*, perpendiculaire à cet axe (1). Si, en outre, elle avance le long de l'axe d'un mouvement uniforme. elle engendre un hélicoïde, l'hélicoïde à plan directeur, ou hélicoïde minimum, déjà signalé plus haut (2). Ainsi, au *plan* correspond l'*hélicoïde minimum*.

De même, si, après la droite, nous prenons chacune des autres méridiennes : demi-cercle, courbe ondulée, chaînette, courbe à nœuds, et que, tout en les faisant tourner uniformément autour de l'axe, nous les fassions avancer uniformément, parallèlement à lui, nous aurons, chaque fois, un hélicoïde nouveau, ressemblant, soit à une colonne torse, soit à une vis spéciale, d'un profil défini (3).

Au cylindre de révolution ne correspond évidemment que lui-même : voilà pourquoi nous l'avions laissé de côté.

De ces cinq hélicoïdes, le premier est strictement minimum, et les quatre autres sont à courbure moyenne constante.

Nous retrouverons d'autres hélicoïdes dans un moment.

22. — SURFACES APPLICABLES.

Ce n'est pas pour le simple plaisir d'indiquer de nouvelles formes, que nous avons mentionné ces hélicoïdes. C'est parce qu'entre eux et les surfaces de révolution précédentes, il y a des relations d'*applicabilité*, qui résultent de propriétés métriques et physiques simples.

Deux surfaces, flexibles et inextensibles, sont dites *applicables* l'une sur l'autre, lorsqu'on peut les amener à coïncider, sans provoquer aucun pli, ni aucune fissure.

---

(1) La bobèche plane d'un bougeoir est une minime portion dudit plan.

(2) Page 10.

(3) La définition précise est celle-ci : on appelle *hélicoïde* toute surface engendrée par une courbe de forme invariable, qui tourne autour d'une droite fixe, en même temps qu'elle se déplace, parallèlement à cet *axe*, de longueurs proportionnelles aux angles dont elle tourne.

Et il est clair que si cette translation est nulle, l'hélicoïde se réduit à une surface de révolution.

Digitized by Google

Ainsi, d'une feuille de papier, on peut faire un cornet, et, réciproquement, le cornet peut être déplié et appliqué sur une table.

D'une manière un peu moins simple, un gauchissement permettra, par exemple, d'appliquer l'*hélicoïde minimum*, sur le *caténoïde minimum*. Et des correspondances du même ordre existent pour les autres figures des deux groupes.

Les faits de ce genre sont intéressants pour une analyse morphologique, parce que les transformations par applicabilité sont les plus simples des changements de figure, incessants, présentés par les êtres vivants.

23. — SURFACES PARALLÈLES. SURFACES A COURBURE TOTALE CONSTANTE.

Un autre changement de figure est constitué par une sorte de dilatation, et, en sens inverse, de rétraction, *parallèles*.

Il donne les *surfaces parallèles* à une surface considérée.

Par là, en partant des surfaces CMC, on est conduit à une autre grande classe de surfaces : les surfaces à courbure *totale* constante.

On définit, pour la courbure, un signe, et l'on distingue les surfaces à courbure totale constante *positive*, et les surfaces à courbure totale constante *négative* (1).

Les surfaces à courbure totale constante offrent des relations d'applicabilité très remarquables.

On peut, parmi d'autres propriétés, trouver un groupe important de ces surfaces, dont on peut faire dériver toutes les autres.

En particulier, on peut trouver toutes les surfaces qu'on obtient en déformant une sphère flexible et inextensible.

Tous ces résultats sont précieux pour la Morphologie.

Un exemple le montre aisément. Voici une surface à courbure totale constante, étudiée en Géométrie (*fig.* 46).

Elle évoque, d'une manière particulièrement étroite, le cinquième stade de la segmentation d'un œuf, telle qu'on peut la suivre au

(1) Dans le cas où la constante est *nulle*, on a des *développables* dont il a déjà été parlé plus haut (§ 11, p. 17).

Digitized by Google

microscope. Nous ne reproduisons ici qu'un dessin de Hatschek,

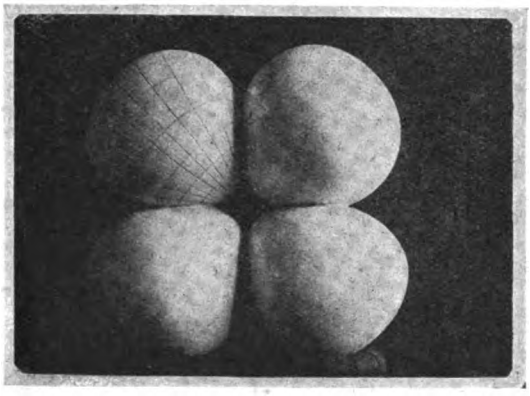


Fig. 46. — Surface à courbure totale constante
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

dans le cas de l'*Amphioxus*, le plus simple des Vertébrés (*fig.* 47).

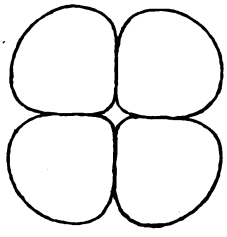


Fig. 47. — Cinquième stade de la segmentation d'un œuf d'*Amphioxus* (Hatschek).
Id. Segmentation mécanique d'une goutte d'huile (Wilhelm Roux).

Et la même figure a été obtenue par Wilhelm Roux, dans ses expériences sur la segmentation mécanique d'une goutte d'huile.

24. — SURFACES A COURBURE TOTALE CONSTANTE, DE RÉVOLUTION.

Il y a une infinité de surfaces à courbure totale constante, *de révolution.*

On ne peut donc en désigner que des *types.*

Les physionomies en sont bien différentes, suivant que les courbures sont *positives* ou *négatives.*

Digitized by Google

La première ligne de la figure 48 donne les types des surfaces à courbure *positive* : une file, sans fin, de renflements et d'étranglements variés.

On peut signaler, en passant, qu'il est intéressant de confronter, tant avec la figure 38 (nodoïde), qu'avec la surface de droite, de la première ligne (*fig.* 48), les silhouettes de certaines larves et de certains Vers.

Les types des surfaces à courbure *négative* sont donnés par la seconde ligne de la figure 48 : une file, sans fin, de gorges particulières, séparées par des rebroussements.

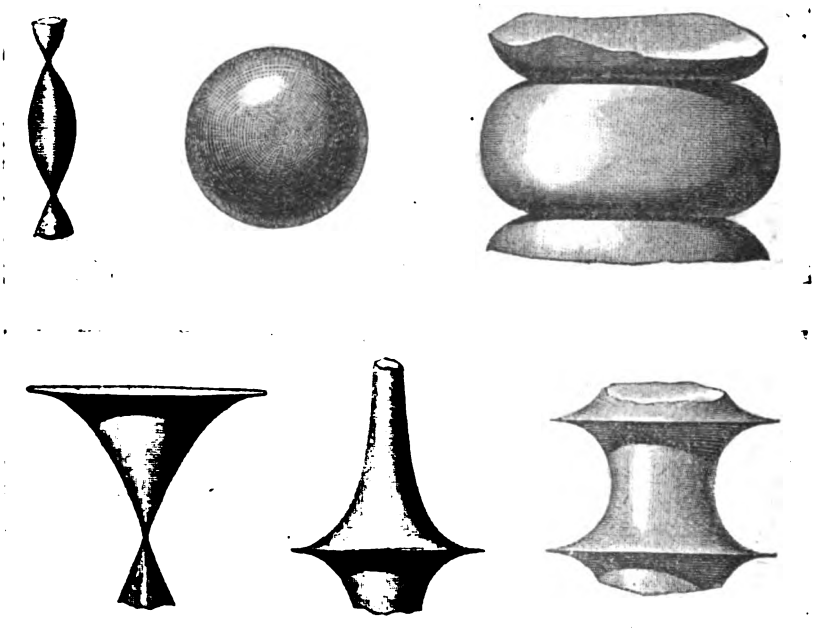


Fig. 48. — Segments de surfaces à courbure totale constante, et de révolution. A courbure positive. A courbure négative (Cesàro).

Dans chacun de ces deux cas, se dessinent encore deux groupes, colonne de gauche, et colonne de droite, où les surfaces sont visiblement parentes, suivant que leur contour visible traverse, ou non, l'axe de révolution. Et il y a inflexion à chaque sécance.

Digitized by Google

Dans chacun des deux cas, enfin, il existe *une* surface, qui est seule de son espèce, et qui, intermédiaire entre les deux groupes, permet de passer de l'un à l'autre.

Elle est dessinée au milieu, dans chacune des deux lignes de la figure précédente.

Pour les types à courbure positive, c'est la *sphère.*

Pour les types à courbure négative, la surface a pour méridienne une courbe appelée *tractrice.* La tractrice, qui a des liens géométriques avec la chaînette (1), est constituée par deux branches infinies, s'étendant symétriquement, de part et d'autre d'un rebroussement. Les branches sont *asymptotes* (2) à l'axe de révolution; c'est-à-dire qu'après s'être approchées de lui, elles finissent par lui devenir pratiquement parallèles.

Cette surface a reçu le nom de *pseudosphère,* non pas, certes, à cause de son aspect, mais parce que ses propriétés ont une correspondance remarquable avec celles de la sphère. Tout comme la sphère, d'ailleurs, la pseudosphère joue, en géométrie, un rôle très important.

Voici la photographie des trois derniers types de surfaces, réalisés (*fig.* 49).

Exemple. — Dans les domaines qui nous sont familiers, les exemples de surfaces à CTC négative ne paraissent pas fréquents. Le suivant est assez inattendu.

Au Musée de Saint-Germain, on est fort étonné d'apercevoir, dans la salle des Verreries antiques, deux urnes bleutées dont le profil, du même type pour chacune d'elles, rappelle curieusement des éléments définis connus. De la base, moins le pied, au cercle de gorge, il ressemble de très près à l'une des surfaces (*fig.* 49) : les profils du vase de gauche (*fig.* 50) et de la surface du bas (*fig.* 49) ont d'assez grandes parties superposables. Et du cercle de gorge à l'ourlet de l'orifice, il est proche d'une surface CMC :

La chose, pourtant, n'est pas aussi surprenante qu'elle paraît l'être tout d'abord. D'une part, en effet, nous l'avons vu, il y a une

---

(1) Elle en est la *développante.* Ce terme est défini au Chapitre II, § 31, p. 112.
(2) *Cf.* note (1), § 26, p. 57.

Digitized by Google

relation physique entre les surfaces à courbure *totale* constante et

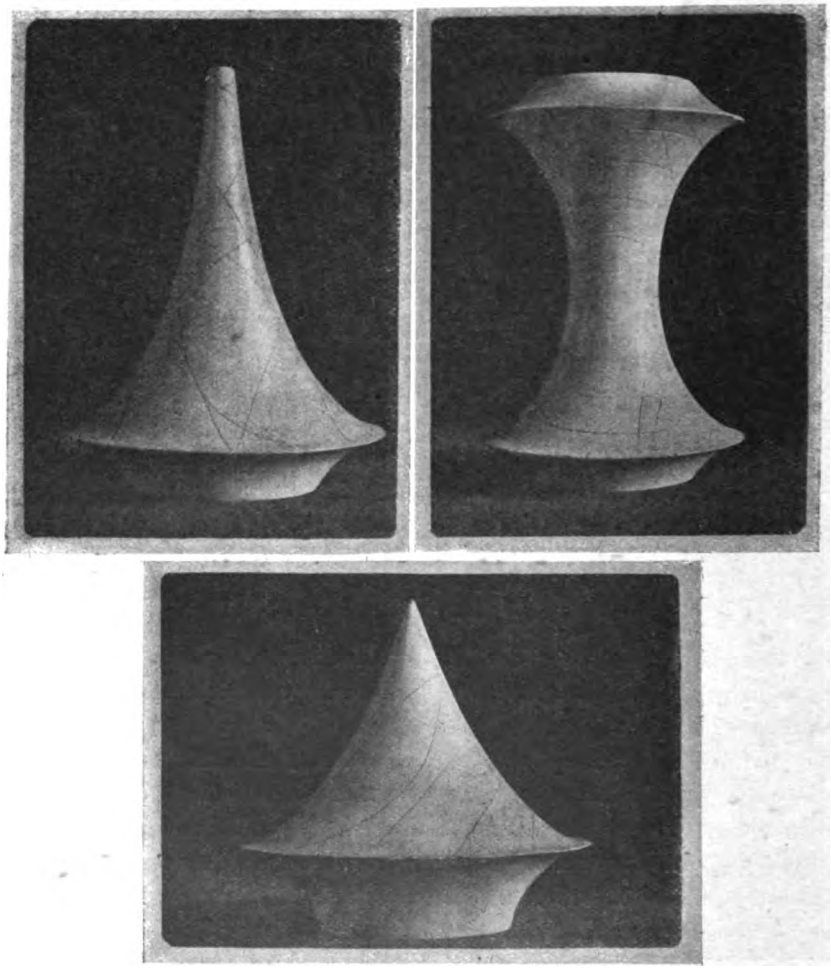


Fig. 49. — Segments de surfaces à courbure totale constante négative, de révolution (plâtre)
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

celles à courbure *moyenne* constante : on passe des unes aux autres par une sorte de dilatation ou de rétraction parallèles. D'autre part,

Digitized by Google

les lames et membranes de liquides plus ou moins visqueux prennent facilement des formes proches de celles à courbure moyenne constante.

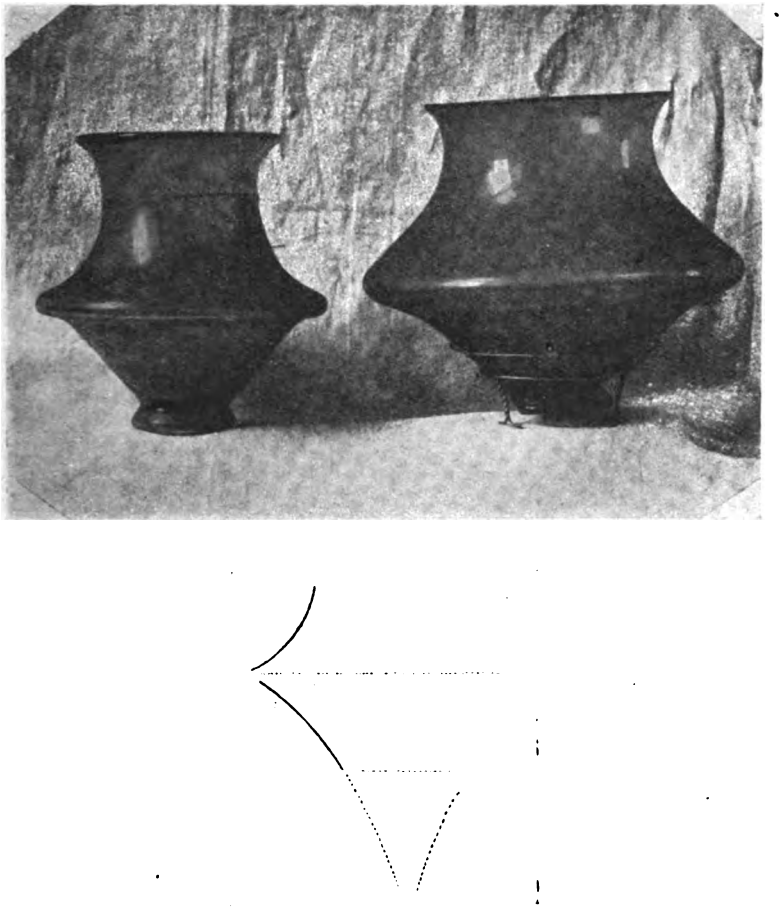


Fig. 50. — Deux verreries antiques, du Musée de Saint-Germain. Comparaison avec l'une des surfaces C. T. C., de révolution.

Le verre qui se façonne à chaud, et se souffle à l'état de pâte très molle, est dans les conditions voulues pour illustrer l'un et l'autre phénomène, et pourrait même servir à donner d'autres exemples.

Digitized by Google

25. — HÉLICOÏDES ASSOCIÉS AUX SURFACES A COURBURE TOTALE CONSTANTE, DE RÉVOLUTION.

De même que pour les surfaces à courbure moyenne constante, si nous prenons la méridienne d'une des surfaces de révolution précédentes, que nous la fassions tourner uniformément autour de son axe, et, en même temps, avancer uniformément, parallèlement à lui, elle engendrera un hélicoïde.

Nous aurons ainsi une infinité d'hélicoïdes nouveaux.

Par exemple, la tractrice de la pseudosphère (*fig.* 49) donne un très bel hélicoïde, dont voici la photographie (*fig.* 51).

Fig 51. — Segment d'hélicoïde-tractrice (plâtre)
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

On trouve, dans la nature, quantité d'hélicoïdes, de type varié, surtout lorsqu'ils ont subi une certaine modification, régulière, déterminée.

Nous verrons celle-ci avec les *surfaces spirales*, et pour y arriver, nous dirons d'abord deux mots des *courbes* planes *spirales*.

Digitized by Google

26. — COURBES SPIRALES.

Les *spirales* sont des courbes planes qui décrivent, autour d'un point appelé leur *pôle*, une infinité de tours ou spires, qui vont en s'étendant indéfiniment.

Les unes passent par le pôle. D'autres ne peuvent l'atteindre qu'après un nombre de tours infini, c'est-à-dire, pratiquement, jamais. Dans ce cas, le pôle est dit *asymptote* pour la courbe [1] (cf. *fig.* 54, 55). On connaît un grand nombre de spirales différentes, définies, mais il est bon de noter qu'une spirale, sans cesser d'appartenir au même type, peut avoir des spires plus ou moins rapprochées, ou éloignées : son *module* est indépendant de sa *loi*.

Spirale d'Archimède. — Dans un plan, une droite tourne d'un

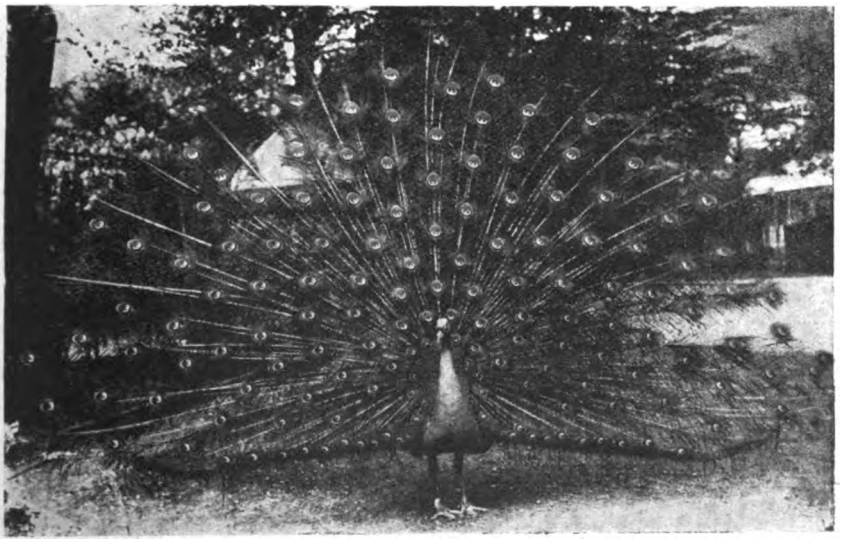


Fig. 52. — Paon faisant la roue (Coll. Morin).

mouvement uniforme autour d'un point fixe. Sur la droite, un

[1] Du grec : *a*, privatif; et *sumptôtos*, qui coïncide; sous-entendu : si loin qu'on prolonge la courbe. Il peut y avoir des points asymptotes, des droites asymptotes, des courbes asymptotes, etc. Une forme quelconque peut, dans des conditions déterminées, être asymptote à une autre forme; et cette notion s'étend à des données autres que les Formes.

Digitized by Google

point mobile part du point fixe et s'éloigne de lui d'un mouvement uniforme : sa trajectoire dans le plan est une *spirale d'Archimède.*

Les lignes de contact des spires successives d'un cordage enroulé, reposant sur un sol plan, sont deux spirales d'Archimède.

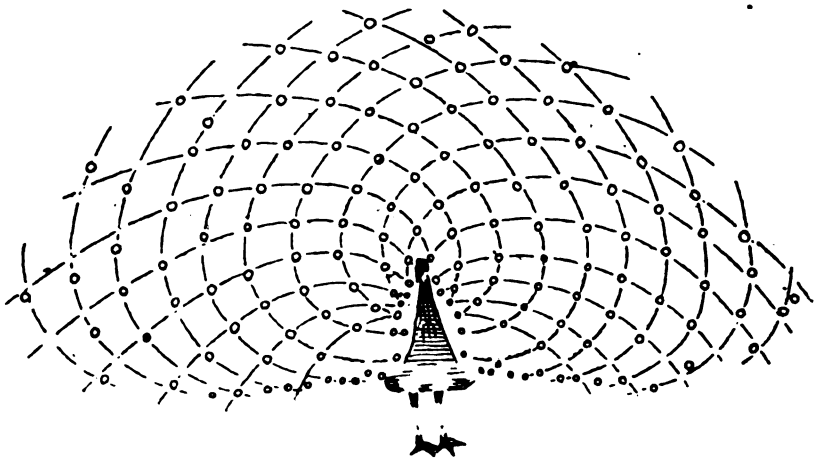


Fig. 53. — Double faisceau de spirales, passant par les yeux de la roue du paon.

Les « yeux » de la « roue » du paon sont situés aux points d'intersection d'un double faisceau de spirales, qui semblent bien être des spirales d'Archimède. Nous disons « semblent », parce que nous n'en avons pas la démonstration (*fig.* 52 et 53).

Spirale de Cornu ou Clothoïde. — Des parties d'autres spirales se voient dans les traces, laissées sur le sol, sous certaines conditions, par les roues des bicyclettes. Et, chose curieuse, ce sont les mêmes qu'on rencontre, en physique, dans l'étude de la lumière (*fig.* 54).

On les appelle : *Spirales de Cornu*, ou encore *Clothoïdes*, du grec *Klôthô*, dérouler un fil : Klôthô, la plus jeune des trois Parques, tenait la quenouille et filait.

Spirale logarithmique. — Ce nom, cependant, semblerait convenir, mieux encore, à la spirale, différente, qu'on peut circonscrire à la longue ligne brisée, tournante, des toiles d'araignée (*fig.* 55).

Digitized by Google

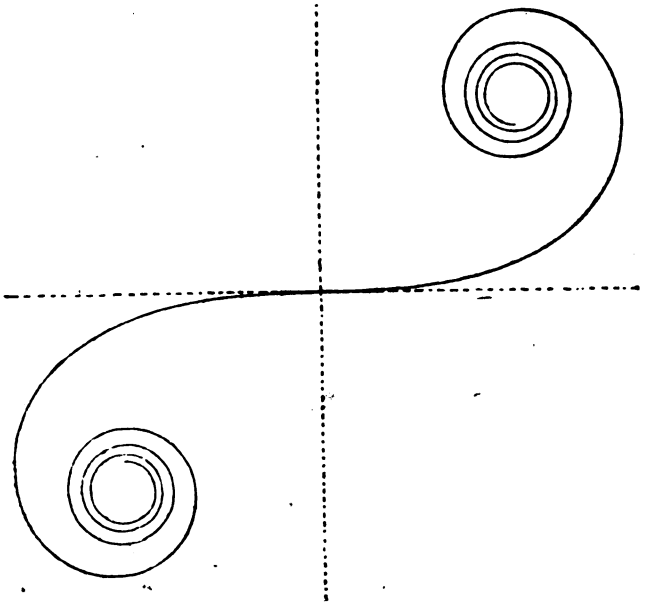


Fig. 54. — Spirale de Cornu, ou clothoïde.

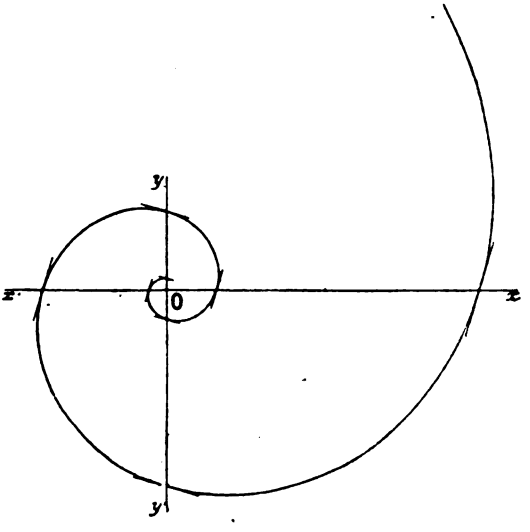


Fig. 55. — Spirale logarithmique.

Digitized by Google

Cette dernière spirale abonde, dans la nature. Elle est fréquente dans les figures de patinage. On la contemple, sans se lasser, dans les admirables formes d'un très grand nombre de coquilles; etc.

Elle est d'un type bien connu, très familier aux mathématiciens, qui l'ont dénommée : *spirale logarithmique.*

Sa présence, d'ailleurs, n'a rien de mystérieux : elle est liée, directement, à celle d'un phénomène qui continue ou se renouvelle, en restant *semblable* à lui-même : manœuvre de l'araignée, croissance de la coquille.

Semblable ne veut pas dire *identique.* Les répétitions identiques, dont nous avons vu des exemples, ont un autre caractère.

On définit, en géométrie, ce qu'il faut entendre par *similitude* de deux formes, ou, synonyme plus significatif, par leur *homothétie*; par *centre de similitude*, ou d'*homothétie*; par éléments *homologues*; égalité des uns (1); proportionnalité des autres (2); *rapport d'homothétie.*

Nous avons déjà eu l'occasion de parler de *formes semblables* (3). Pour éviter tout appareil mathématique, nous avions simplement indiqué que lorsqu'une forme est semblable à une autre, on peut la lui superposer, par un agrandissement (ou une réduction) approprié. Les termes de « agrandissement » ou « réduction » ne sont pas précis, mais ils désignent, dans le langage courant, une opération bien déterminée, et, sous cette réserve, ils sont exacts.

Dans le cas actuel, une spirale logarithmique étant donnée, toutes les courbes *semblables* à elle lui sont superposables : en les cherchant, on retrouve la même spirale donnée.

En d'autres termes, les spirales logarithmiques ont, parmi d'autres, la propriété remarquable de *ne pas changer de forme*, lorsqu'elles se dilatent (dans tous les sens, également), autour d'un point quelconque.

La *dilatation sans déformation* est une particularité importante, que nous retrouverons dans les *surfaces spirales.*

A cette qualité, la spirale logarithmique doit, non seulement

---

(1) Angulaires.
(2) Linéaires.
(3) *Cf.* § 15, p. 28.

Digitized by Google

d'être trouvée un peu partout, mais de pouvoir être considérée, parmi les formes naturelles, comme une des plus simples, sinon même la plus simple.

Remarque.

Le fait d'être simple n'entraîne aucunement, *ipso facto*, celui d'être fondamental, ni général. Pourtant, on n'a pas manqué, et en bien des circonstances, d'induire, abusivement, de la première qualité aux deux autres, car l'apparence, souvent séduisante, de ce qu'on déduit ensuite, en masque les défauts. Mais il y a là un danger contre quoi l'on ne saurait être trop prémuni. En Morphologie, il a conduit à des systématisations vaines, échafaudées, l'une sur la droite, l'autre sur le cercle, une troisième sur la spirale, une autre sur l'hélice, une autre encore sur les tourbillons, etc. : autant d'erreurs de jugement, qui reviennent, en général, à substituer, contre tout droit, l'approximation à la réalité, ou à confondre les domaines statique, cinématique, dynamique, et à passer, sans raison légitime, de l'un à l'autre. Ce n'est pas ainsi que doit être entendue l'antique parole : « Le réel est un. »

27. — SURFACES SPIRALES.

La section plane de quantité de coquilles, ou la vue, en plan, de leur enroulement, donne des spirales logarithmiques. Celles du *Nautile* et celle de l'*Ammonite* sont particulièrement nettes, mais on pourrait en indiquer de très nombreux autres exemples (*fig.* 56 et 57).

On remarque, à propos de ces figures, que la spirale se présente comme la ligne de contact des spires successives, et comme le contour apparent de la surface.

Or, cette surface tout entière est elle-même une forme définie [1]. Elle fait partie de la classe intéressante des *surfaces spirales*, et l'on peut donner une idée assez précise de sa loi.

---

[1] *Cf.* HATON DE LA GOUPILLIÈRE, *Surfaces nautiloïdes* (*Annaes da Academia polytechnica do Porto*, Coïmbra. Imprensa de Universidade, 1908)

Digitized by Google

Surfaces spirales à enroulement plan.

Soit une spirale logarithmique, de pôle P; soit un point M sur la spirale, et menons le rayon PM qui joint M au pôle P, et qu'on appelle le *rayon vecteur* du point M.

Supposons M près du pôle, et supposons une petite courbe quelconque C, liée à M et à son rayon vecteur. Pour simplifier, au commencement, nous pouvons penser à un petit cercle, ou à une petite ellipse.

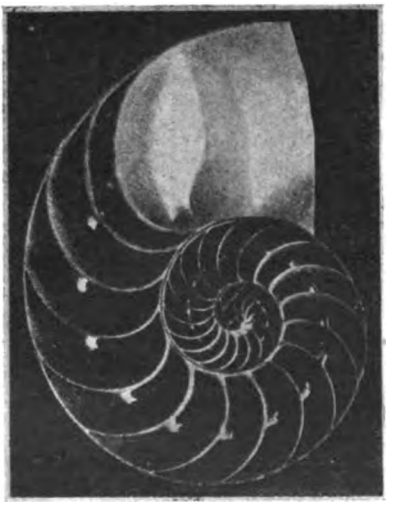


Fig. 56. — Section d'un Nautile, par son plan de symétrie (d'Arcy W. Thompson).

dont le centre serait en M, et dont le plan serait, en ce point, perpendiculaire à la spirale, comme l'indique la figure 58.

Faisons maintenant décrire la spirale au point M. Dans ce mouvement, alors que les *angles* dont tourne le rayon vecteur sont entre eux, par exemple, comme les nombres de la suite

$$1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6,\ 7,\ \ldots,$$

c'est-à-dire croissent en progression *arithmétique*, les *longueurs*

Digitized by Google

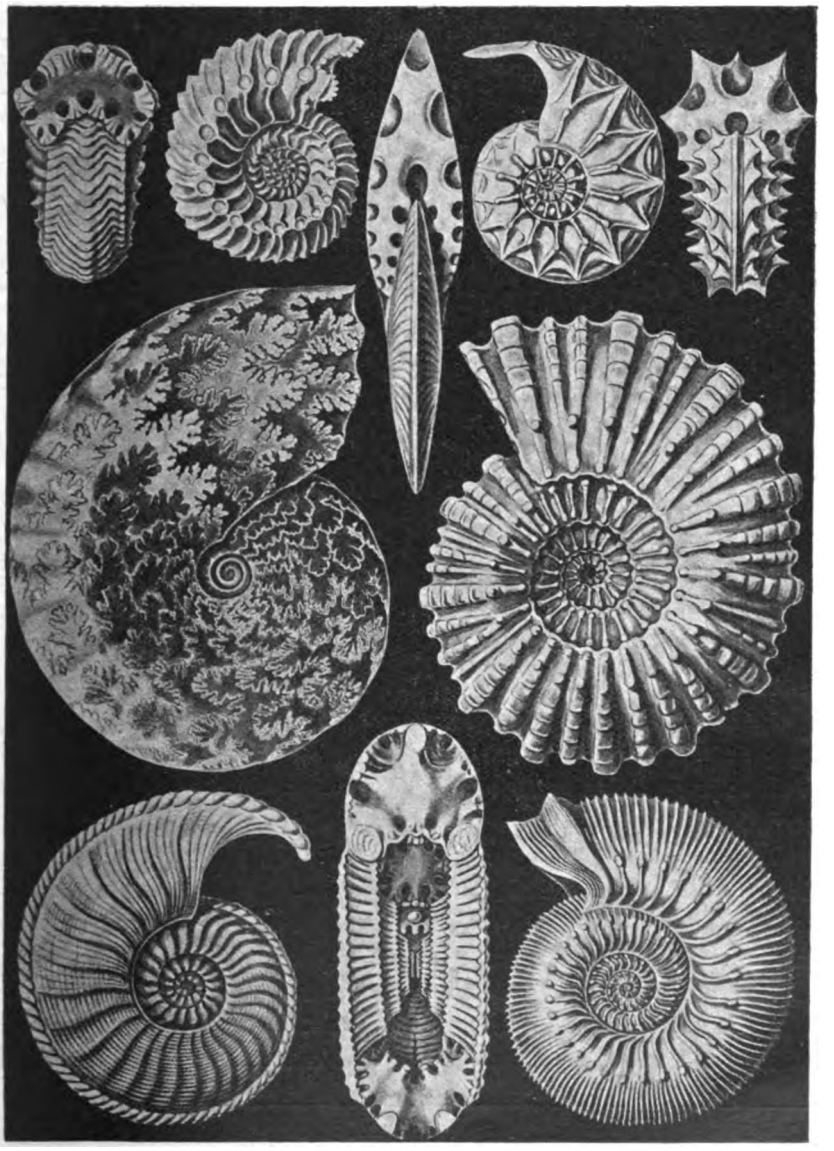


Fig. 57. — Ammonites fossiles (Haeckel).

Digitized by Google

correspondantes du rayon vecteur sont entre elles, par exemple [1], comme les nombres de la suite

1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, ...,

c'est-à-dire croissent en progression *géométrique*. Imaginons alors que la courbe C se dilate aussi, régulièrement et progressivement, sans se déformer, en restant toujours semblable à elle-même; ou, d'une manière plus précise, qu'en restant toujours semblablement placée par rapport au pôle, ses dimensions croissent en progression géométrique, quand les angles dont tourne son plan croissent en progression arithmétique.

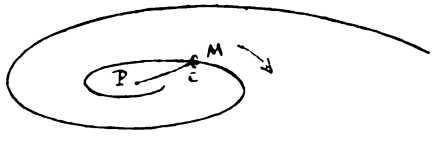


Fig. 58.

Nous obtiendrons ainsi une surface tubulaire à enroulement plan, de diamètre croissant, et dont les spires, suivant les cas, resteront séparées, ou seront tangentes, ou empiéteront les unes sur les autres en acquérant une région commune. Les contours apparents, les lignes de tangence, ou celles de suture, seront, évidemment, toujours des spirales logarithmiques.

Nous avons ainsi un premier type de *surface spirale* simple, à régime plan, dont la courbe C est la *génératrice*.

Or, nous avons aussi, du même coup, le type d'un grand nombre de coquilles à enroulement plan. Il suffit, en effet, de supposer que, toutes choses restant les mêmes, la *génératrice* varie et prend une forme particulière : par exemple, le Nautile a une génératrice semi-elliptique, et des spires à empiètement considérable; chez les Ammonites et chez des espèces voisines, on trouve des empiètements moindres, des tangences, ou des spires séparées, avec des génératrices

[1] Toute autre suite d'éléments en progression géométrique satisfait à l'énoncé, et il y correspondra, chaque fois, une *nouvelle* spirale. Ceci est l'*une* des nombreuses propriétés de la spirale logarithmique. D'autres propriétés seront rencontrées plus tard.

Digitized by Google

plus compliquées, rappelant des polygones à angles arrondis, à côtés incurvés, ou gauchis etc. (*fig.* 55, 56).

Surfaces spirales à enroulement hélicoïdal.

Voici maintenant le type général. Reprenons la figure précédente. Dessinons l'axe PA, perpendiculaire au plan du tableau, autour duquel tourne la courbe (*fig.* 59).

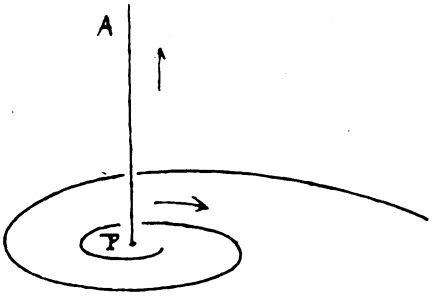


Fig. 59.

Reprenons aussi tous les éléments et les conditions précédentes, et supposons, de plus, que lorsque la courbe génératrice se dilate sans déformation en tournant autour de l'axe, elle avance, en outre, parallèlement à lui. Autrement dit, nous combinons un mouvement de dilatation avec un mouvement hélicoïdal.

Alors la génératrice (qui est évanouissante en P) engendre une surface à enroulement hélicoïdal, pointue à son origine, et allant en se dilatant de plus en plus (1).

---

(1) Pour ceux qui désireraient une définition précise : une *surface spirale* est engendrée par une courbe plane, qui tourne autour d'une droite de son plan, en restant homothétique à elle-même par rapport à un point fixe de cette droite (le sommet, ou pôle), et dont les dimensions croissent en progression géométrique, quand les angles dont tourne son plan croissent en progression arithmétique.

Si la génératrice n'est pas plane, il est facile, sans rien changer au résultat, de lui trouver une courbe plane de substitution.

Enfin, on voit aisément que lorsque la dilatation tend vers zéro, la surface spirale tend vers un hélicoïde; et que lorsque la translation, parallèle à l'axe, tend à son tour vers zéro, l'hélicoïde tend vers une surface de révolution.

On peut ainsi passer continûment de la première forme à la dernière. Dans la

Digitized by Google

Telles sont les *hélicoïdes-spirales* ou *surfaces spirales* en général.

Le *Buccin*, la *Littorine* ou *Vignot*, de nos côtes, l'*Escargot* des jardins, la *Limnée* des étangs, si connus de tous, sont des exemples de surfaces spirales et en font comprendre le principe. La figure 60 en montre d'autres et, parmi elles, une coquille de *Fusus Longicauda*, sectionnée par un plan proche de l'axe et parallèle à lui, pour laisser voir la structure, et en particulier la dilatation de la génératrice, qui n'est autre que le contour de l'orifice de la coquille.

Dans le mouvement décrit, chaque point de la génératrice a pour trajectoire une courbe *hélice-spirale* (tenant à la fois de l'hélice et de la spirale). Il en résulte souvent, à la surface de la coquille, toute une famille de stries, bien visibles. En particulier, la ligne de suture des différentes spires de la coquille est une hélice-spirale.

Cette courbe se retrouvera au paragraphe 31 du Chapitre II, et sa définition y sera donnée, en même temps qu'une vérification de ce qui est avancé ici sans démonstration (§ 31, p. 117 à 121).

Autres exemples de surfaces spirales

Les coquilles sont loin de constituer la seule réalisation de surfaces spirales.

L'insertion des feuilles des plantes, sur leurs tiges, se fait suivant une hélice-spirale très allongée, et celle des pétales de beaucoup de fleurs suivant une autre, très raccourcie [1].

Des portions plus ou moins grandes de surfaces spirales se voient dans tout ce qui est bec, dents, griffes, serres, ongles, etc.

Et le dernier exemple que voici est encore plus net.

La collection de Géométrie supérieure, à la Faculté des Sciences, possède deux très belles surfaces spirales, dues à M. J. Caron, et correspondant, la première, au cas où l'élément générateur est un cercle, et la seconde, à celui où il est une sphère (*fig.* 61 et 62).

---

nature, très peu de chose suffit à déclencher ce « passage », et des formes qui ont l'air étrangères sont, en fait, parentes. Ce point n'est pas indifférent à une analyse morphologique.

[1] *Cf.* Schwendener, *Mechanische Theorie der Blattstellungen* (Leipzig, Engelmann, 1878), et F. M. Jaeger, *Le principe de symétrie et ses applications* (Paris, Gauthier-Villars, 1925).

Digitized by Google

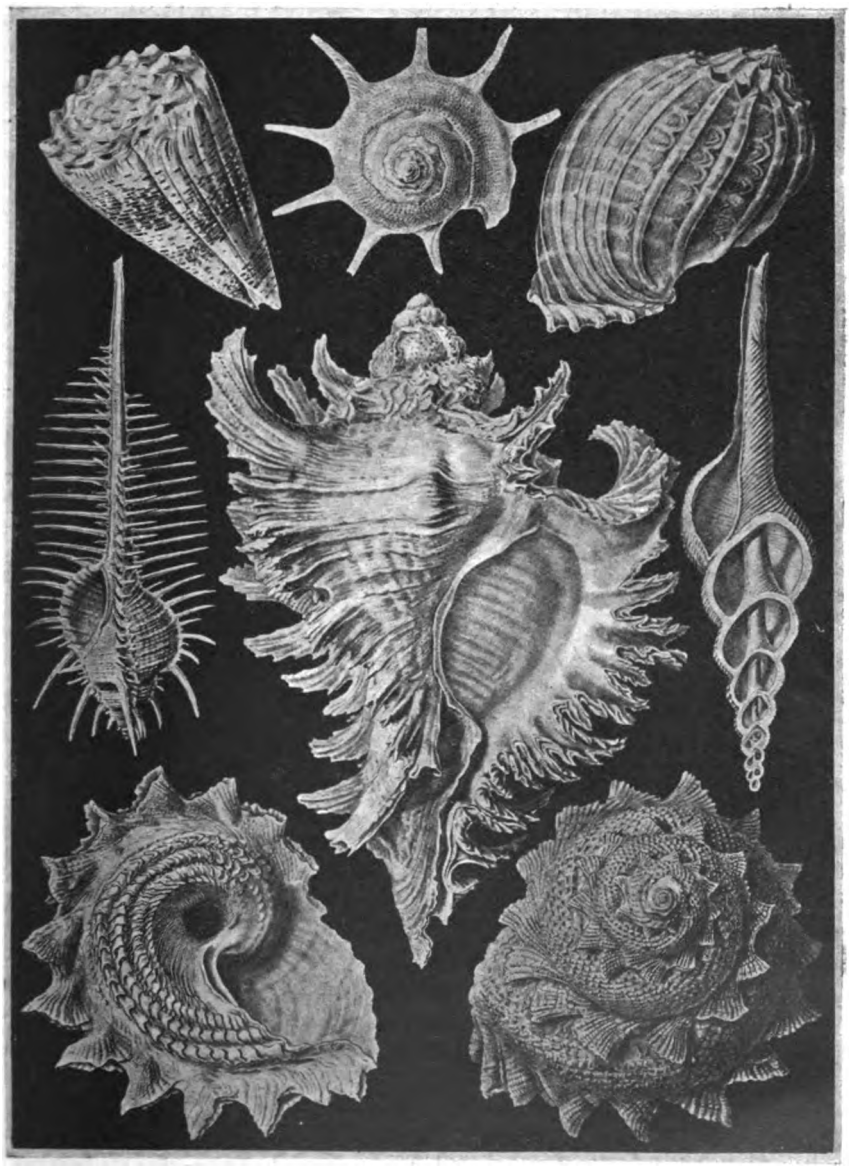


Fig. 60. — Coquilles de Mollusques Gastéropodes (Haeckel).

Digitized by Google

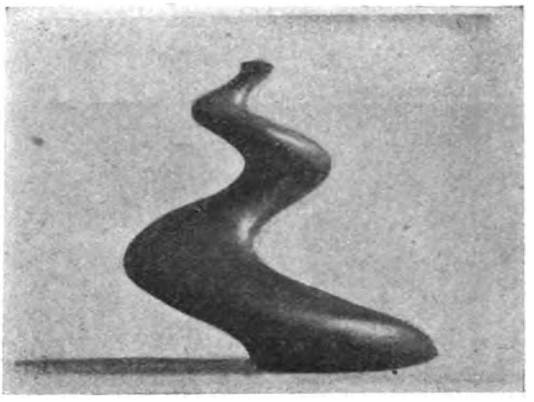
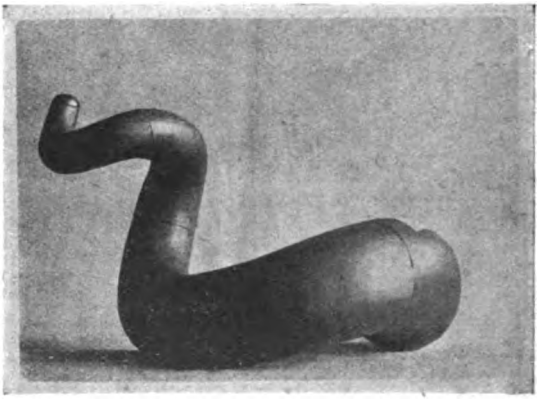


Fig. 61. — Surface spirale engendrée par une famille de cercles (J. Caron).



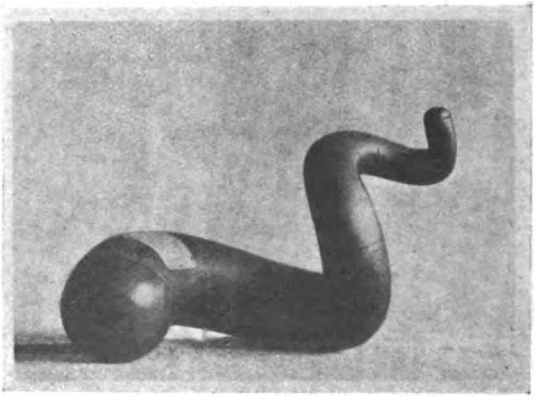


Fig. 62. — Surface spirale, enveloppe d'une famille de sphères (J. Caron).
(Collection de Géométrie supérieure. Sorbonne).

Digitized by Google

Ces formes sont la solution de problèmes de pure mathématique. Or il suffit, dans l'un et l'autre cas, d'adjoindre, à chaque surface,

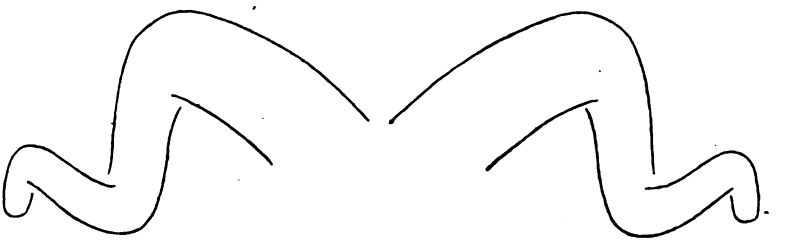


Fig. 63.

sa symétrique et de les imaginer plantées sur le crâne d'un ruminant (*fig.* 63) pour voir que toutes les cornes de ces animaux sont des

Fig. 64. — Tête de ruminant.

surfaces-spirales évidentes, et où des sillons transversaux explicitent la génératrice (*fig.* 64).

Digitized by Google

28. — TOURBILLONS.

Toutes les formes définies rencontrées jusqu'à présent sont simples. Un grand nombre correspondent à des figures d'équilibre, et se laissent examiner et manier à loisir. D'autres, trajectoires d'un mobile ou dues à une lente croissance, permettent un enregistrement facile. Mais l'observation des milieux en mouvement (solides qu'on déforme, aussi bien que fluides qui se déplacent) conduit vite à des ensembles morphologiques beaucoup plus complexes. Ces derniers présentent encore parfois (point nécessairement, d'ailleurs) des torsades hélicoïdales et des enroulements spiralés, mais ils ne sont ni des hélicoïdes, ni des surfaces spirales. Leur stabilité est bien différente de celle des formes que nous avons déjà vues : ils peuvent subir des attractions, des répulsions, ils peuvent entrer en vibration, ils ne connaissent pas le repos et, en même temps, ils sont dotés d'une individualité singulière, en quelque manière indestructible. On en trouve aisément, ils sont familiers à tous, mais leur étude est un des chapitres difficiles de la Mécanique. Ce sont les *tourbillons*.

Il s'en faut que ce terme soit toujours entendu comme il convient. Tout le monde a vu des remous, en arrière des piles d'un pont, et croit avoir vu des tourbillons. Mais ces remous n'offrent au regard que de très minimes portions de tourbillons, qui, eux, sont à l'intérieur du liquide, et non visibles. D'autre part, il ne suffit pas non plus qu'il y ait mouvement pour qu'il y ait tourbillon. Ceux-ci ne se forment que dans des conditions déterminées, et de grandes parties du fluide en mouvement n'en contiennent aucun. Aussi peut-on, en passant, comme nous l'avons fait pour d'autres termes, mettre le lecteur en garde contre l'usage du mot « tourbillon »; son emploi intempestif conduit à des propos dénués de tout sens.

La définition rigoureuse des tourbillons [1] sortirait d'ailleurs du cadre élémentaire de l'exposé actuel, sans grand profit pour son objet. Nous dirons simplement que l'existence de tourbillons est liée essentiellement à celle de *rotations* au sein du milieu considéré.

---

[1] *Cf.* l'excellent Mémoire de M. Brillouin, *Recherches récentes sur diverses questions d'Hydrodynamique* (Paris, Gauthier-Villars, 1891).

Digitized by Google

Ainsi, le mouvement de la *houle* (trochoïdes) vu plus haut est rotationnel et tourbillonnaire; tandis que la propagation d'une onde *simple* (sinusoïde) était irrotationnelle, et non accompagnée de tourbillons.

On désigne par *tourbillon* toute portion du milieu où il y a rotation, par opposition avec tout le reste du milieu, où il n'y a pas rotation. Dans un fluide dépourvu de viscosité et de diffusion, les masses, lieux de rotation, resteraient bien délimitées, et y conserveraient leur individualité. Mais dans la nature, les frottements les altèrent et les détruisent peu à peu.

Dans beaucoup de cas, cependant, la modification est assez lente pour permettre une bonne observation. Les figures qui vont suivre en donnent plusieurs exemples.

Tourbillons de rivière.

On peut, sans trop de difficulté, rendre compte de ce qui se passe pour un tourbillon de rivière, dans un cas élémentaire, bien entendu (1).

Imaginons d'abord un espace annulaire rond, analogue à un gros anneau de rideau, horizontal. Il est une figure de révolution, à axe vertical et qui, coupée par un plan passant par l'axe, donne pour section deux cercles. Nous supposerons que, dans cet espace clos, ou se comportant comme tel, les particules circulent dans le sens des flèches (*fig.* 65), en tournant autour du centre de chaque cercle et, par conséquent, pour la figure complète (non plus en coupe), en tournant autour de l'axe circulaire, horizontal, de l'anneau.

Supposons, maintenant, que la section de cet espace annulaire de révolution soit, non plus deux cercles, mais une déformation, plus ou moins allongée, de ces deux cercles, comme le montre la figure 66. L'ensemble, vu de côté, est pseudo-ovoïde, et, vu d'en haut, il apparaît comme percé, suivant l'axe, d'un entonnoir allongé, à parois courbes. Dans ce nouvel anneau fermé, ou se comportant comme tel, les parti-

(1) *Cf.* C. L. WEYHER, *Tourbillons, trombes, tempêtes et sphères tournantes* (Paris, Gauthier-Villars, 1887).

Digitized by Google

cules fluides circulent toujours en tournant, comme précédemment. Pour celles qui sont plus ou moins près de la surface, les flèches

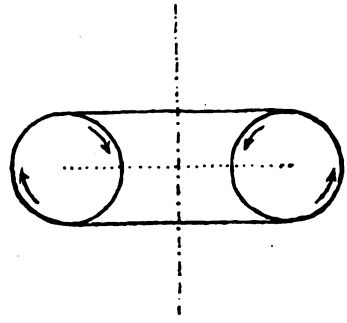


Fig. 65.

montrent qu'elles descendent le long des parois courbes de l'entonnoir, pour remonter de l'autre côté (*fig.* 66).

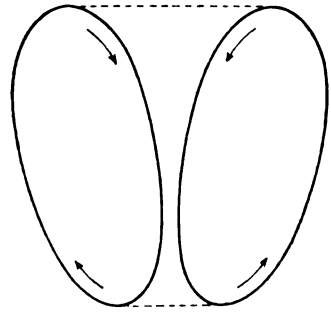


Fig. 66.

Enfin, supposons maintenant que cet ensemble soit assujetti, en outre, à tourner tout entier autour de son axe vertical de révolution. Alors la combinaison des deux circulations, l'une descendante et remontante, et l'autre tournant horizontalement, engendrera une circulation résultante hélicoïdale (*fig.* 67). *Une* particule fluide, prise *sur* la surface (pour la clarté du dessin), descend en tournoyant, à pas très allongé, sur les parois de l'entonnoir, puis remonte à l'extérieur, toujours sur la surface, en décrivant une autre hélice, à spires

Digitized by Google

plus rapprochées; puis elle redescend, et ainsi de suite, décrivant une trajectoire *fermée*. Et il en est de même pour toutes les autres particules encloses dans le tourbillon.

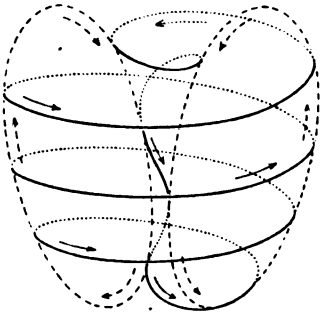


Fig. 67. — Tourbillon de rivière (trajectoire d'une particule dans un cas simple).

Dans une rivière, le tourbillon est. naturellement, tout entier dans l'eau, et rien n'indique sa présence, sinon la petite dépression tournoyante, qui est l'amorce supérieure de l'entonnoir axial : on voit combien ce que le langage courant dénomme « tourbillon » est une partie infime du tourbillon véritable.

Pour des raisons inutiles à préciser ici, il est d'observation banale que, sur les parois du tube-entonnoir d'un tourbillon de rivière, la circulation est *descendante*, quel que soit le sens de la rotation horizontale. Au contraire, sur les parois du tube d'un *cyclone*, la circulation est *ascendante*. Ainsi, une trombe marine n'est *pas* un tourbillon. Elle est une colonne liquide, aspirée vers le ciel par le tourbillon aérien, et moulée par lui dans son tube axial (1).

En résumé, l'élément constitutif principal d'un tel tourbillon est un anneau fermé. Mais la « double » circulation dont nous avons parlé n'est pas indispensable pour qu'il y ait tourbillon. Une seule suffit : les anneaux de fumée produits dans un air calme par les locomotives ou ceux, gazeux ou liquides, dus à tout autre dispositif, sont autant de cas particuliers de tourbillons.

---

(1) La méridienne de cette colonne est, sur une assez grande partie, une courbe définie connue, appelée *exponentielle*.

Digitized by Google

Autres tourbillons

Dans un fluide immobile, toute cause, qui met en mouvement une petite portion de ce fluide ou d'un fluide étranger, peut, à condition de provoquer des rotations, déterminer des tourbillons :

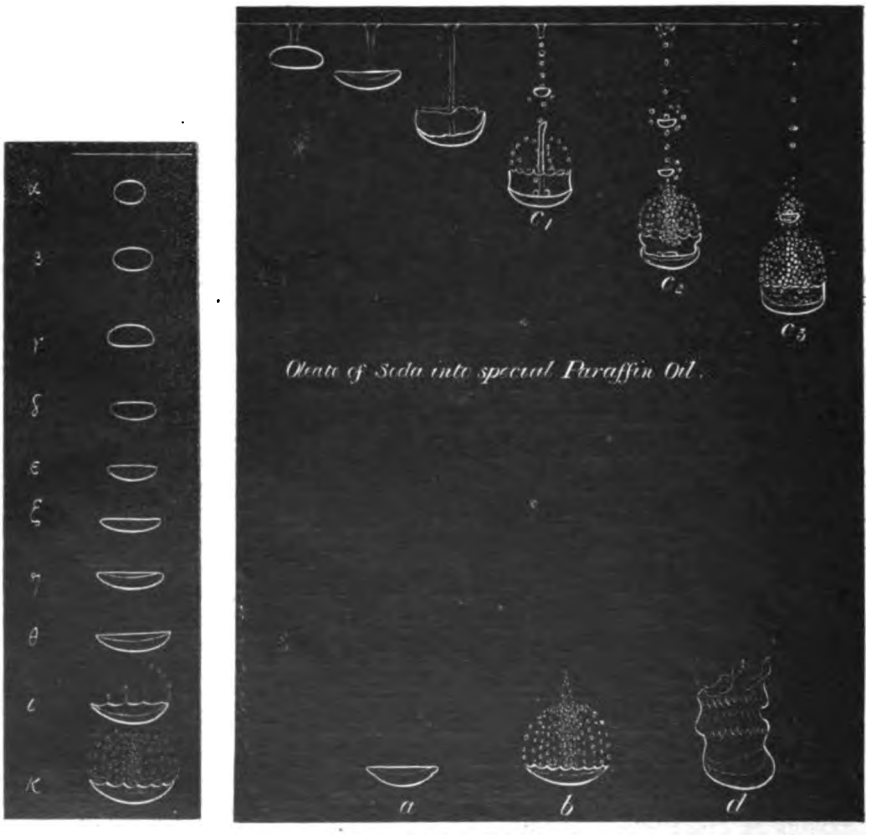


Fig. 68. — Gouttes déformées par des tourbillons (Thomson et Newall).

application de chaleur, chute d'une goutte, formation d'un jet au bout d'un tube, etc.

Nous nous bornerons à signaler les expériences qui ont conduit

Digitized by Google

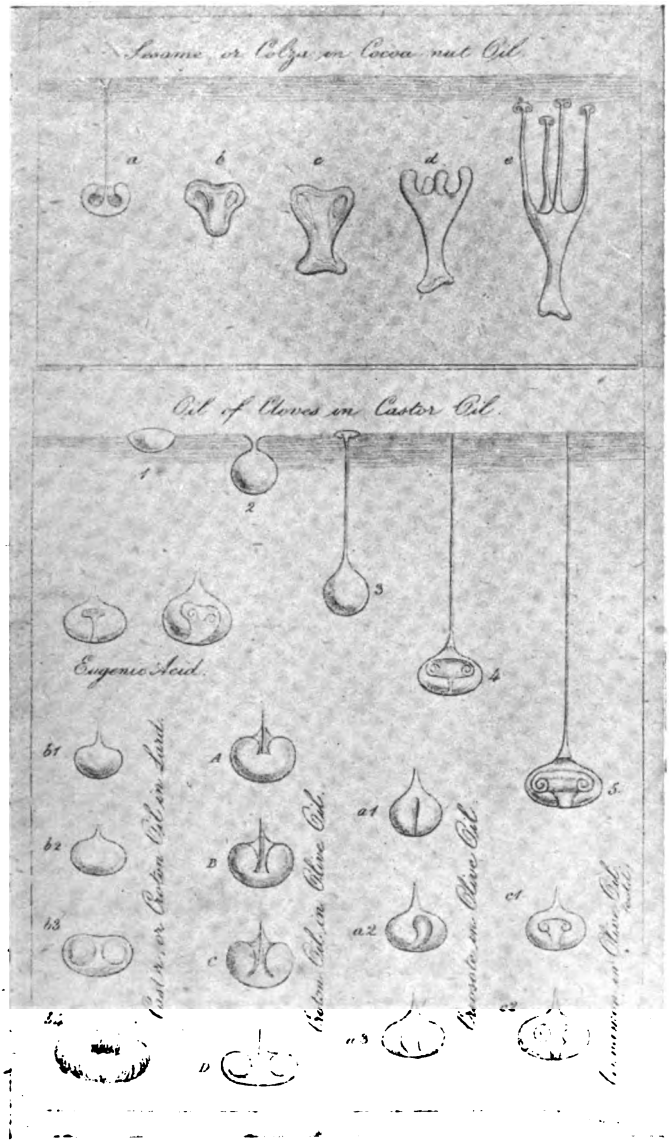


Fig. 63. — Gouttes et tourbillons (Tomlinson).

Digitized by Google

H. Bénard (1) et C. Dauzère (2) à des données nouvelles sur la structure de divers groupes de corps solides. Un stand, à la dernière Exposition de Physique, en montrait tout l'intérêt (3).

Nous insisterons davantage sur des expériences moins connues et dont les résultats suggèrent des rapprochements bien curieux.

En faisant tomber, dans un liquide immobile, des gouttes d'un autre liquide, plus dense, J.-J. Thomson et H. F. Newall (4) ont vu les tourbillons déformer les gouttes et les façonner en cupules variées, d'un galbe très caractéristique (*fig.* 68).

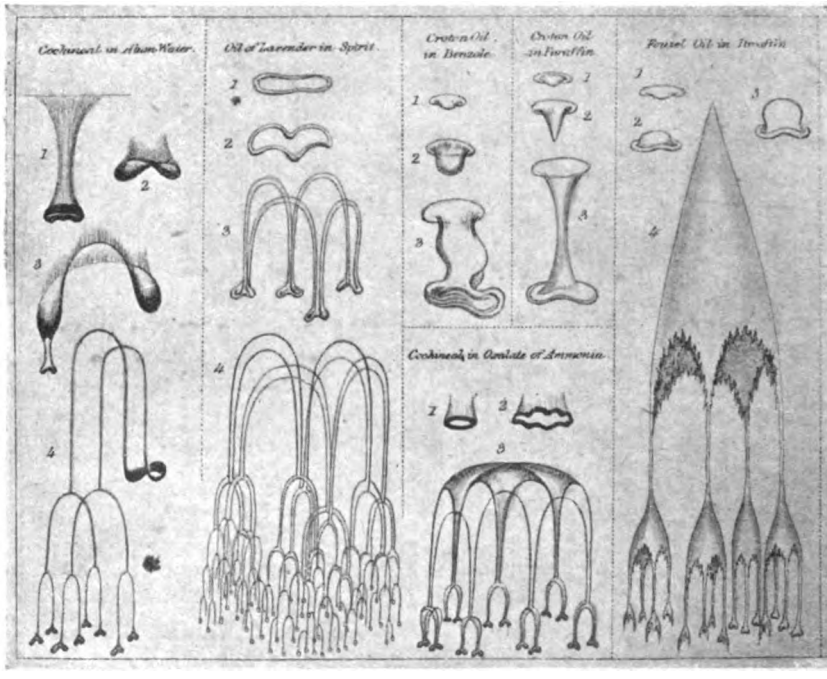


Fig. 70. — Gouttes et tourbillons (Tomlinson).

Antérieurement, Tomlinson (5) avait vu se produire les apparences

(1) *Thèse de doctorat* (Paris, 1901).
(2) *Ann. de Phys.*, 1919.
(3) 1923.
(4) *Proc. Roy. Soc.*, t. XXXIX (London, 1885)
(5) *Phil. Mag.* (London, 1864).

Digitized by Google

de la figure 69 et jusqu'à des dômes en ogive très allongée (*fig.* 70).

La pesanteur fait cheminer ces tourbillons de haut en bas.

Le sens du cheminement est renversé si, par un tube vertical, orifice tourné vers le haut, on lance un jet liquide dans de l'eau immobile. L'expérience a été faite par Oberbeck (1), et les deux premières lignes de la figure 71 reproduisent ses dessins. Les dentelures de la tige du second tourbillon proviennent de pulsations périodiques imprimées au jet, à partir d'un certain moment. Le sixième dessin représente un petit tourbillon venant « emboutir » un plus grand. Il est intéressant de comparer ces dessins aux précédents et de noter les éléments morphologiques communs. La comparaison est rendue plus facile en retournant bout pour bout les figures 68, 69 et en agrandissant s'il y a lieu. Nous appelons l'attention sur les formes de cupules, calottes ou champignons : on verra pourquoi dans un instant.

On obtient aussi des tourbillons ascendants et des formes analogues en provoquant, par une application convenable de chaleur, l'ascension d'une colonne cylindrique ronde, au sein d'une masse fluide immobile, liquide ou gazeuse. P. Czermak (2) a pu photographier le phénomène, et la dernière ligne de la figure 71 en donne trois calques.

La nature réalise parfois la dernière expérience en grand. L'été dernier (1926), dans le massif de la Pointe de l'Échelle (3), en étant de bonne heure sur les sommets, j'ai eu, à plusieurs reprises, l'occasion d'observer de magnifiques mers de brouillards, reposant dans la vallée de l'Arc. Par temps calme, l'action du soleil provoquait l'ascension de colonnes gazeuses, et de-ci de-là, s'élevaient lentement de vastes champignons blancs floconneux, identiques de forme, en tous points, au second tourbillon de la figure 71, et dont le pédoncule, uni comme ceux du premier et du troisième, était rectiligne ou faiblement incurvé.

K. Mack a photographié les tourbillons dus à l'envoi d'un jet (4). Il a confirmé l'exactitude des dessins d'Oberbeck et saisi de nouveaux détails (*fig.* 72) :

La première silhouette de la première ligne est celle d'un tourbillon

---

(1) *Pogg. Ann.*, II, 1877.
(2) *Wied. Ann.*, 1893.
(3) Haute-Maurienne.
(4) *Wied. Ann.*, 1899.

Digitized by Google

qui monte. En fermant le robinet d'afflux, on a les deux silhouettes qui suivent.

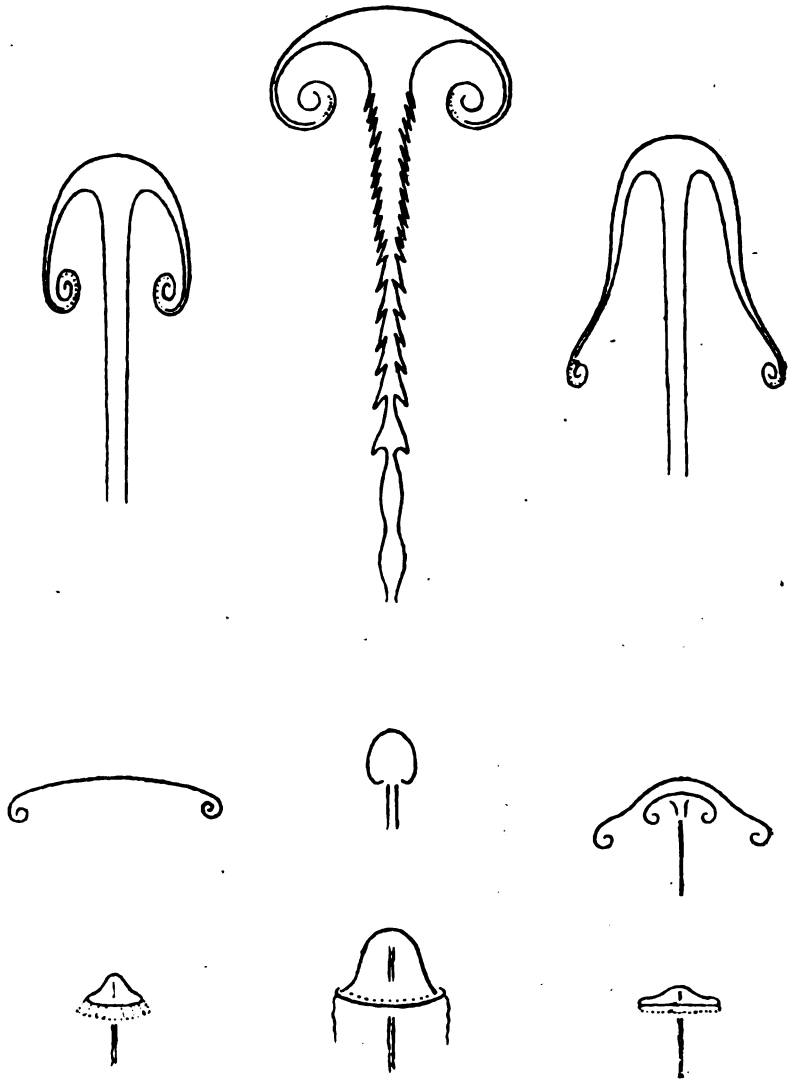


Fig. 71. — Tourbillons (Oberbeck. Czermak).

Les cinq autres silhouettes (2e et 3e lignes) donnent les aspects successifs d'un tourbillon embouti par un autre de même axe :

Digitized by Google

dans la figure 73, l'extrémité antérieure est un peu plus resserrée et s'épointe.

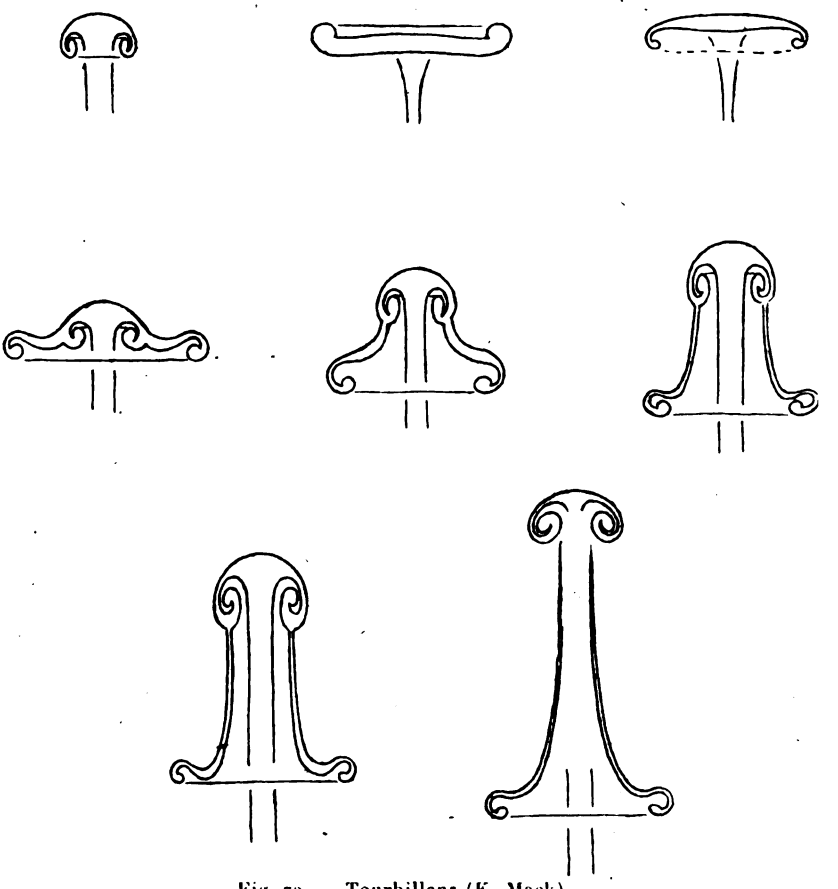


Fig. 72. — Tourbillons (K. Mack).

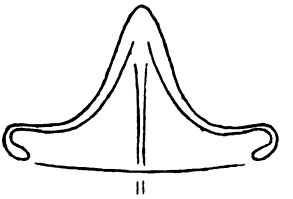


Fig. 73. — Tourbillon (K. Mack).

Enfin, les déformations les plus diverses pourraient survenir si

Digitized by Google

le jet rencontrait un obstacle. Dans le cas simple d'un « champignon » rencontrant un plan rigide normal à sa course, son extrémité antérieure s'aplatirait aussi, et son pourtour libre resterait en volute (*fig.* 74).

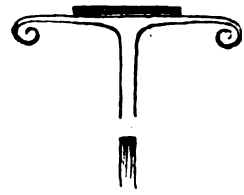


Fig. 74 — Tourbillon déformé par un obstacle plan (Oberbeck).

La même forme serait encore obtenue si, inversement, l'obstacle plan descendait sur un cylindre liquide, supposé immobile. Et comme rien n'oblige la matière mise en œuvre à être fluide, on devrait retrouver le même résultat avec des solides plus ou moins plastiques. C'est, en effet, ce que l'on observe couramment sur les outils en acier dont la « tête » n'est pas trempée, menés au marteau, ciseaux à froid, ciselets, etc. : au bout d'un certain temps d'emploi, leur tête s'écrase, s'élargit, et s'ourle d'un pourtour en volute qui, à quelques légères différences individuelles près, est d'un type identique à celui de la figure 74 [1].

Deux exemples de tourbillons en morphologie animale.

Reprenons tous les tourbillons des figures 68 à 73 et ceux, analogues, obtenus en variant leurs données. On constate aisément que, dans des conditions comparables, à côté de détails individuels, propres à chacun et inhérents aux matières en cause, ils ont tous en commun certains traits (disposition d'ensemble, présence et galbe très caractéristique des extrémités arrondies, volutes plus ou moins

[1] Bien entendu, le « corps » de l'outil est proportionnellement beaucoup plus large que le mince filet liquide de la figure 74

Digitized by Google

accentuées, etc.), liés directement à l'action du milieu où ils se meuvent (1).

Il résulte de là, et aussi de certaines propriétés physiques des tourbillons (de leur individualité morphologique, notamment), que si l'on pouvait figer les apparences précédentes et que, devenues maintenant enveloppes rigides, on animât chacune de la translation propre à son modèle fluide, l'action du milieu environnant ne tendrait plus à les déformer.

Et si, consistantes, mais non plus rigides, ces enveloppes étaient déformables et plastiques, leur progression dans ce milieu tendrait à leur donner la forme même qu'elles ont actuellement.

La chose serait plus vraie encore pour les matières vivantes qui croissent et se renouvellent. Toutes les probabilités sont pour qu'en un point donné les cellules d'un tissu vivant aient tendance à se développer indifféremment dans *toutes* les directions autour du point. Mais ces tendances sont contrariées par des effets de distorsion et de cisaillement. Les lieux où ces effets sont nuls constituent des directions et zones privilégiées, où seules le développement peut se faire, d'où plasticité, structure, forme, etc. On en trouvera plus loin, à propos des trabécules osseux, un exemple typique. On doit donc s'attendre aussi à retrouver des formes de tourbillons dans la morphologie de certains vivants.

Parmi d'autres, deux grands groupes d'animaux confirment cette manière de voir :

α. — Méduses.

Tentacules, bouche et annexes mis à part, une *méduse* se présente comme une épaisse calotte ou cloche arrondie, convexité tournée en haut, appelée *ombrelle*.

Innombrables sont les profils d'ombrelles, entiers ou en partie, qui rappellent de très près des profils de tourbillons. Il en a été réuni quelques-uns ici (*fig.* 75 à 78) et il eût été facile d'en donner bien davantage (2).

L'existence de tourbillons, liés aux mouvements des méduses,

(1) *Cf.* plus haut, § 13, p. 60 : « Les deux éléments principaux d'une morphologie », et, ci-après, Chapitre IV, même désignation, § 39, p. 166.

(2) On en trouve aussi chez un assez grand nombre de Céphalopodes.

Digitized by Google

dans leur progression rythmique, convexité de l'ombrelle en avant, résulte, avec certitude, du mode de contraction de la sous-ombrelle

Fig. 75. — Profils d'ombrelles de Méduses.
Aequora et *Tima* (Delage et Hérouard).

ou du *velum*, pour les méduses qui possèdent cette membrane [1].

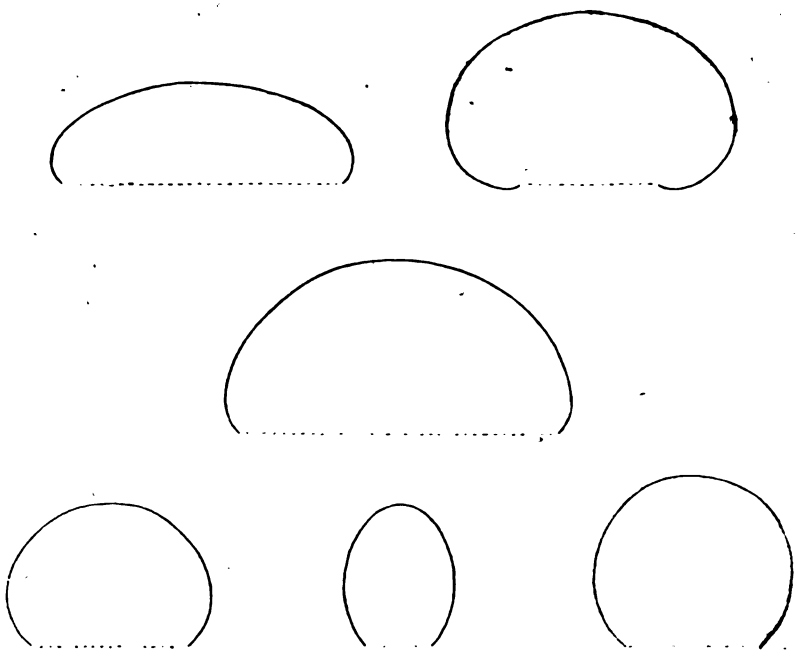


Fig. 76. — Profils d'ombrelles de Méduses.
1re ligne : *Zygocanna diploconus. Polycanna germanica.*
2e ligne : *Thamnostylus dinema.*
3e ligne : *Geryones elephas. Sarsia tubulosa. Pelagia perla* (Haeckel).

Une illustration particulièrement nette en est donnée par le dessin reproduit figure 79.

---

[1] Membrane annulaire aplatie, parfois semblable à une frange, insérée au bord de l'ombrelle.

Digitized by Google

Les méduses *Aequorides* se distinguent par un nombre élevé de tentacules longs et fins, qui flottent au gré des remous et en révèlent

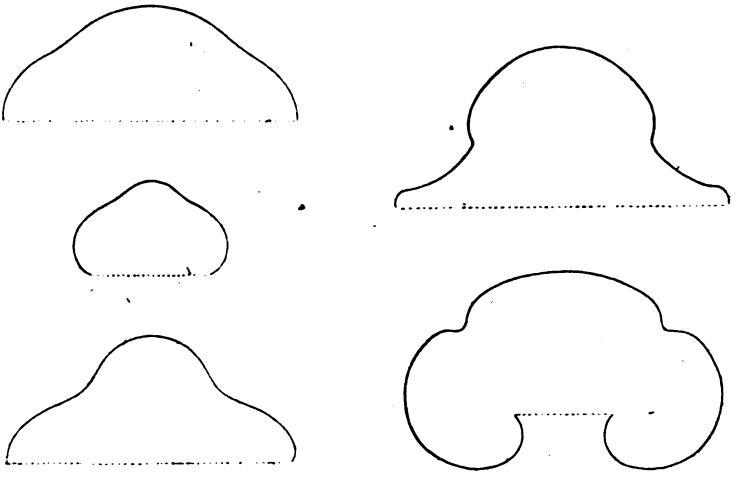


Fig. 77. — Profils d'ombrelles de Méduses.
De haut en bas, 1re colonne : *Ptychogena primulata. Floresca parthenia. Toreuma bellagemma.* — Id. 2e colonne : *Pectis antarctica. Pegantha pantheon* (Haeckel).

la forme. L'une d'elles, la *Polycanna germanica*, de Helgoland, a, au repos, une ombrelle peu bombée. Mais lorsqu'elle progresse en

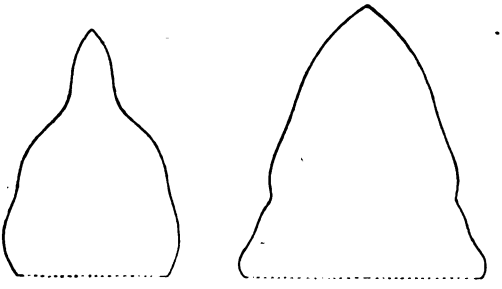


Fig. 78. — Profils d'ombrelles de Méduses,
Tesserantha connectens. Periphylla mirabilis (Haeckel).

la contractant, elle en recourbe énergiquement le pourtour, de manière à devenir plus qu'hémisphérique. Haeckel a eu la bonne idée de la dessiner à ce moment-là. Mais tandis que son texte parle bien des

Digitized by Google

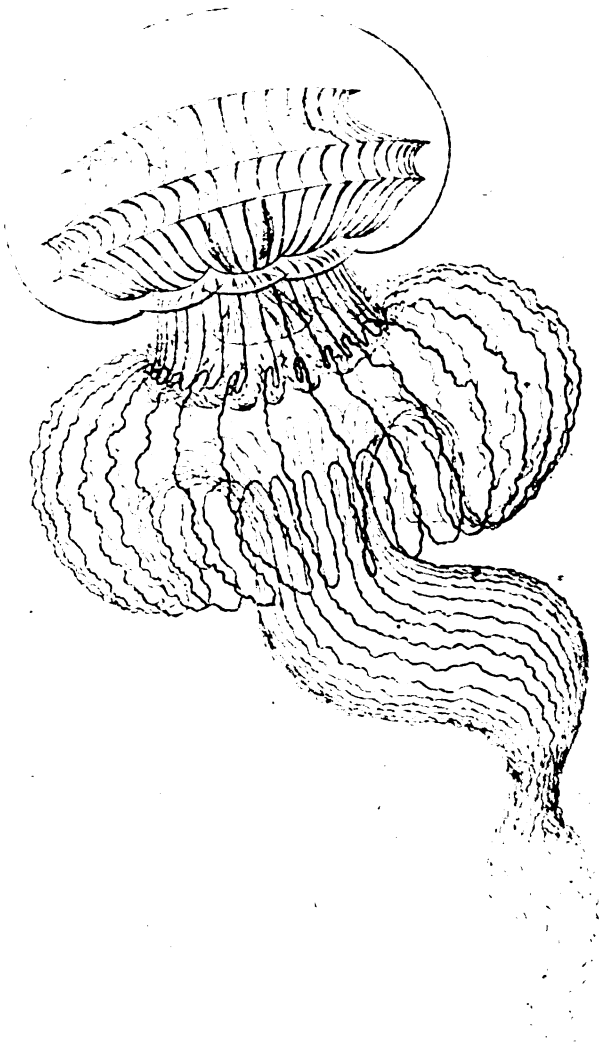


Fig. 79. — *Polycanna germanica* (Haeckel).

Digitized by Google

inflexions de la partie basse des tentacules déliés, il ne dit rien du beau tourbillon annulaire révélé par leur partie haute, ni du profil de tourbillon pris par l'ombrelle, éléments d'une signification morphologique beaucoup plus grande (*fig.* 79).

β. — Poissons.

Il est d'ailleurs bon de noter la présence d'ondulations en même temps que des tourbillons. Étant donnés la forme générale de la méduse et, malgré une certaine agilité, ses déplacements peu rapides, cette circonstance seconde joue un rôle effacé.

Mais avec une vitesse croissante peuvent naître des ondulations accentuées, des inversions périodiques dans les profils et des vibrations propres des tourbillons, dont l'importance serait capitale.

Dans un admirable Mémoire, qui est peut-être le plus remarquable travail de Morphologie dynamique que nous possédions, F. Houssay a montré comment ces données s'appliquent aux *poissons*.

Il est parti d'elles et de la seule considération d'une matière suffisamment plastique, douée d'énergie motrice, de densité voisine de celle de l'eau, et il est arrivé aux conclusions suivantes (1) :

« I. Nous avons ramené à une vibration de plus en plus fine :

» 1° L'inversion générale du corps;
» 2° Le découpage des nageoires;
» 3° La métamérie;
» 4° La formation des rayons sur les nageoires et la subdivision des rayons en articles;
» 5° La constitution des feuillets branchiaux;
» 6° La formation des fibres musculaires;
» 7° La structure de chaque fibre.

» II. Nous avons montré comment ces divers aspects vibratoires varient avec la résistance de l'eau, laquelle est toujours fonction de trois variables : vitesse, forme, souplesse.

---

(1) F. Houssay, *Forme, puissance et stabilité des Poissons* (Paris, Hermann, 1912).

Digitized by Google

» III. Le retournement du Vertébré, déterminé par la supériorité de rendement qu'entraîne la position du centre de gravité au-dessus du centre de poussée, a lui-même produit la dissymétrie qui groupe les nageoires en deux catégories, les *paires* et les *impaires*, ainsi que l'hétérocercie des *Squalidés*.

» IV. La montée stabilisatrice qu'éprouve cette forme dans la nage filée a introduit, soit les quilles caudales, soit plus généralement le jeu des nageoires ventrales, action qui, elle-même, a eu pour conséquence immédiate la compression latérale, l'homocercie, la bouche terminale, en un mot, le passage aux *Téléostomes*.

» V. L'accroissement de vitesse a produit, sur les poissons à colonne vertébrale souple ou peu durcie, les formes à une seule dorsale.

» VI. Le durcissement du squelette, combiné avec la vitesse conservant les deux dorsales, a amené le déplacement des nageoires ventrales en avant du centre de gravité (ventrales thoraciques et jugulaires).

» VII. Le durcissement du squelette, sur des poissons plus lents, a eu pour conséquence l'allongement de la nageoire anale d'abord, de la seconde dorsale ensuite, et le passage progressif aux *anguilliformes*.

» VIII. Nous avons vu enfin une réfection secondaire de la forme à tourbillons courts, par reprise de vitesse, chez les *Gadidés* et les *Scombéridés*.

» La même résistance d'eau, travaillant les *Annélides* et les *Arthropodes*, a produit des effets analogues, avec des différences dues aux conditions physiques de moindre vitesse et de plus grande densité. Le corps de ces animaux, montrant toujours la vibration transversale de la métamérie, ne subit pas d'inversion ; il est concave ventralement, et porte des appendices rythmiquement répétés.

» Le mouvement tourbillonnaire immédiatement introduit dès qu'il s'agit d'animaux capables de se déplacer d'une façon relativement rapide, bien qu'avec des vitesses variables, est une des plus puissantes actions modelantes, sur les êtres doués de vie, et constitués par le colloïde protoplasme. Nous en avons montré, d'une façon précise, un cas particulier; il y en a bien d'autres. »

Digitized by Google

CHAPITRE II.

FAMILLES DE FORMES ET FORMES ASSOCIÉES.

29. — LIGNES TRACÉES SUR UNE SURFACE.

Houssay spécifie bien que les données de mouvement, de plasticité et de densité des poissons suffisent à rendre compte de leurs caractères morphologiques essentiels, c'est-à-dire à montrer comment ils en sont les conséquences nécessaires.

Et la mort l'a pris alors qu'il avait déjà mené fort loin le problème de la forme des oiseaux.

La grande valeur des recherches de Houssay est de n'avoir eu besoin que de considérations mécaniques directes, et aussi d'avoir donné une détermination, très poussée, de la forme d'organismes aussi complexes que ceux des poissons. Il ne s'agit plus, en effet, d'un profil d'ensemble, considéré isolément, mais de nombreuses formes, apparentées, et des détails de leur morphologie.

Nous avons déjà eu l'occasion de rencontrer des formes parentes, groupées en *familles*, et nous nous arrêterons un instant sur cette circonstance, avant de retrouver d'autres résultats importants, concernant des Vertébrés supérieurs.

Dans le plan, nous avons rencontré les familles de cycloïdes et celles, très différentes, engendrées par les Transformations de figures. Nous avons même, plus loin, aperçu des *familles de surfaces :* surfaces CMC de révolution, surfaces parallèles, surfaces CTC de révolution. Et, tout dernièrement, à propos de tourbillons de rivière (§ 28, p. 73. *fig.* 67), si, au lieu de considérer une seule particule, on en avait considéré plusieurs, on aurait eu autant de *courbes gauches* appartenant à une même *famille.*

On sent bien que le terme de « famille » est, ici, générique et pris

Digitized by Google

pour désigner des ensembles de formes groupées par une loi commune. En réalité, il y a des familles de différents genres, et en géométrie on le spécifie toujours (1). Mais l'exposé actuel n'en a guère besoin et nous nous bornons à le mentionner, en laissant de côté, comme toujours, toute définition technique, non strictement indispensable à l'intelligence de notre sujet.

Sur une surface, comme dans le plan, peuvent être tracées des lignes définies constituant une famille, et nombreuses sont celles qu'on distingue. Nous mentionnerons, pour mémoire, les lignes *asymptotiques*, signalerons les lignes de *courbure*, et dirons deux mots des *géodésiques*.

Nous verrons ensuite des faisceaux de courbes définies qui occupent des *volumes*.

Lignes de courbure.

Étant donnée une surface, parmi toutes les courbes que l'on peut, en un de ses points, tracer sur elle, on définit certaines d'entre elles qui ont des relations intéressantes avec la courbure de la surface et qu'on appelle *lignes de courbure*.

On démontre qu'en chaque point passent deux lignes de courbure, et qu'elles s'y coupent à angle droit, de sorte que l'ensemble de toutes les lignes de courbure d'une surface dessine, sur celle-ci, un quadrillé courbe, ou *réseau* courbe, orthogonal.

Par exemple, pour une surface de révolution, l'une des familles de lignes de courbure est constituée par toutes les *méridiennes*, ou sections de la surface par des plans passant par l'axe, et l'autre famille est donnée par les *parallèles*, ou sections par les plans perpendiculaires à l'axe. Dans la figure 36, qui représente un caténoïde minimum, les méridiennes sont les lignes verticales, chaînettes, et les parallèles sont les lignes horizontales, cercles. Mais les lignes qui coupent diagonalement ce réseau ne sont plus lignes de courbure.

---

(1) *Familles* proprement dites; *congruences*; *complexes*; etc. La dénomination de *systèmes* de formes est souvent employée et ne préjuge rien. On peut encore, sans spécification quelconque, parler d'*ensembles* morphologiques à un ou à plusieurs *paramètres* indépendants.

Digitized by Google

On voit encore un réseau de lignes de courbure au globule du haut. à gauche, de la surface CTC, non de révolution (*fig.* 46).

Dans la nature, innombrables sont les coques de graines, ou enveloppes d'animaux, de révolution ou non, qui portent des « accents » disposés suivant l'une des familles de lignes de courbure de la surface, quelquefois suivant les deux; par exemple dans les formes à symétrie rayonnée autour d'un axe, tout ce qui, accentué, serait côte ou cannelure, Nous verrons, dans un instant, non pas positivement une explication de ce fait, mais la raison pourquoi il n'a rien qui doive surprendre (1).

Lignes géodésiques.

Nous n'avons pas donné la définition des lignes de courbure, parce qu'elle n'était pas utile à l'exposé actuel. Il en est de même pour la définition des lignes géodésiques. Mais ces dernières ont une propriété physique qui, elle, nous importe.

Imaginons une surface parfaitement polie, de sorte que tout ce qui serait mis sur elle y glisserait librement, jusqu'à une position d'équilibre, déterminée par les forces en présence. Et supposons que, d'un certain point à un autre point, du côté de la convexité de la surface (2), on *tende* un fil, et que ce soit la seule force exercée sur lui : la forme qu'il prendra sera un arc de *géodésique* (3) de la surface.

Tels seront, sur une sphère, les grands cercles; sur l'ellipsoïde terrestre, les méridiens; sur un cylindre de révolution, les hélices; etc.

On voit, en même temps, que, dans le cas général, il passe, en un point d'une surface, non pas une ni deux géodésiques, mais une infinité. Parmi cette infinité, il en est qui peuvent, en outre, former une *famille*.

Exemples.

I. Il est bien évident que si, d'avance, on avait disposé le fil tendu suivant un arc de géodésique, il se trouverait en position d'équi-

---

(1) *Cf.* VII, p. 98.

(2) Sous-entendu : convexe relativement à l'expérience réalisée.

(3) Du grec *gè* : terre, et *daïein* : diviser, et, en particulier, la mesure d'un arc de méridien. D'où, par extension, le nom de géodésiques aux lignes qui, sur d'autres surfaces, jouent le même rôle que les méridiens sur le globe terrestre.

Digitized by Google

libre *stable*. Aussi est-il une grande collection d'objets fabriqués, où les géodésiques abondent, et ce sont les vanneries. La figure 80

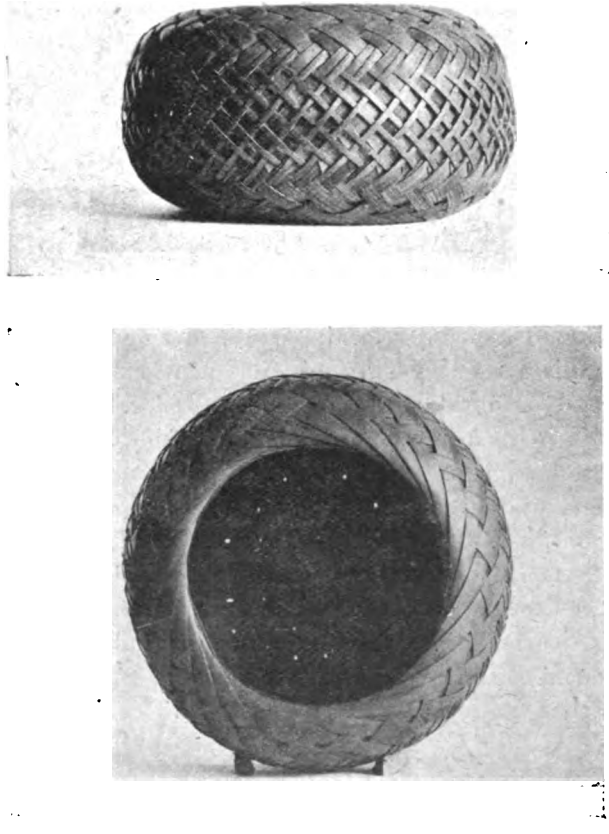


Fig. 80. — Vannerie japonaise.

représente une vannerie japonaise, qui offre un double intérêt : elle est très sensiblement un nodoïde (1), et le réseau de bandes souples

(1) *Cf.* le nodoïde (*fig.* 38, p. 40).

Digitized by Google

qui le constitue est celui de deux familles, symétriques, de géodésiques de ce nodoïde.

Les vanniers font ainsi de la géométrie infinitésimale sans le savoir. Les géodésiques ne sont pas, d'ailleurs, les seules courbes définies que présentent leurs objets tressés : on y voit aussi des élastiques, des lignes de courbure et d'autres lignes encore.

Le fait d'être ligne de courbure n'est d'ailleurs pas, *a priori*, exclusif d'être géodésique. On démontre qu'à part un certain cas d'exception (1), si une géodésique est plane, elle est aussi ligne de courbure, et réciproquement. L'inverse n'est pas nécessairement vrai : une ligne de courbure plane n'est pas nécessairement géodésique. Ainsi, dans le caténoïde minimum, la chaînette méridienne, ligne de courbure et ligne plane, est aussi géodésique de la surface; et il en est de même du cercle de gorge, mais non pas des autres cercles parallèles (2).

II. Les vanneries sont loin d'être les seuls objets fabriqués où se voient des géodésiques. On a fait, jadis, des étuis, des boîtes et des poires à poudre noire, en cuir paraissant embouti, et non « de dépouille », c'est-à-dire ayant un orifice rétreint, ne permettant pas d'y entrer et d'en sortir un noyau dur, sur quoi l'on eût fait la mise en forme. En réalité, ces objets sont constitués par l'enroulement géodésique de longues lanières collées, permettant une variété de profils que jamais une peau d'un seul tenant n'eût permis.

III. Plus avant dans le passé, les momies égyptiennes sont riches d'enseignement à cet égard, avec leurs emmaillotages savants, dont l'art est perdu, et dont les pansements modernes sont les descendants amenuisés.

IV. Récemment, on a essayé de lancer la mode de souliers bas en lanières entre-croisées, et les meilleurs modèles, et pour cause, sont ceux dont les réseaux sont géodésiques.

V. Dans l'art du vêtement, et surtout du vêtement féminin, les géodésiques jouent un rôle plus important encore, voire impérieux.

---

(1) Les surfaces réglées *gauches*, c'est-à-dire non développables.

(2) *Cf.* le caténoïde (*fig.* 36, p. 38).

Digitized by Google

Un tissu quelconque, avec son armature de chaîne et de trame (on dit : *armure* d'un tissu), est un réseau quadrillé droit, donc d'abord géodésique du plan. En Couture, on appelle *droit fil*, l'une ou l'autre des directions de la chaîne ou de la trame, et *biais* la direction bissectrice. Si l'on tire sur un tissu, la déformation sera minima en droit fil, et maxima en biais. Une excellente démonstration en est donnée par les jupes « cloche » (1). Pour une jupe cloche, on part d'un grand cercle d'étoffe, bas de la jupe, percé au centre d'un cercle plus petit, la taille. Les deux sections circulaires rencontrent donc alternativement du droit fil et du biais. Or, avant tout essayage, il faut que la forme première, découpée, soit suspendue par la taille pendant au moins 24 heures, pour laisser se produire les déformations variables dues à l'action de la pesanteur sur les fils; et ces déformations atteignent facilement jusqu'à 15 et 20^{cm} de longueur. Et même après cette précaution, et celle de « soutenir » par une pièce en droit fil le cercle de la taille, on peut voir d'autres déformations survenir plus tard.

Ailleurs, on se sert de cette circonstance. C'est en biais que sont, avec intention, coupés les cols, les volants, les capes : les pièces se mettent mieux « en forme » et donnent des plis ronds, agréables.

D'après ce qui précède, il est clair que, pour qu'une robe soit d'aplomb, il faut que le droit fil, en tous les points de tension éventuelle (taille, épaules, etc., tous points « forts » ou « de construction », osseux en général), s'accorde avec les géodésiques de la surface à vêtir. L'art de la coupe et l'assemblage des morceaux coupés consistent donc, essentiellement, non seulement à résoudre un problème d'applicabilité optima de deux surfaces, forme plane sur forme gauche (2), mais encore à s'arranger pour que l'étoffe arrive en droit fil aux endroits voulus, endroits inhérents à la cliente, et non à la disposition de la couturière.

Ces deux conditions primordiales dominent toute la Couture. A notre époque, elles ne sont pas trop tyranniques, parce que les robes sont peu ajustées, et que le « patron » correspondant

(1) La mode des jupes cloche remonte à une vingtaine d'années environ.

(2) Avec cette condition supplémentaire que les tissus sont d'une souplesse inégale, se prêtent inégalement bien à l'applicabilité, et que cela entraîne de sérieuses variations dans la préparation d'une robe.

Digitized by Google

à un « modèle » donné suffit en général pour toutes les clientes. Mais, il y a une quinzaine d'années, au temps des robes très appliquées, dites « princesse », le problème était tout autre. Le droit fil devait être rigoureux à la taille et à la poitrine, et il fallait en même temps assurer son accord géodésique avec les modelés du sujet. On avait l'obligation de tailler, pour chaque cliente, un patron individuel. La gaine désirée ne pouvait se monter qu'en découpant l'étoffe en longues bandes étroites, de contours particuliers, variables de l'une à l'autre, destinées à être juxtaposées, ajustées et cousues. Un tel assemblage était long et délicat, et seules des ouvrières spéciales, dites « apprêteuses », pouvaient y être employées.

Ainsi, les couturières jouent avec les notions difficiles de courbure totale et de courbure géodésique. Coudre n'est pas plus l'art de la couture, que coller n'est celui du bois, cimenter celui de l'architecture, ou souder celui du métal. Et, précisément, si l'on pense que la coupe et l'assemblage sont les deux éléments essentiels de la *Couture*, on voit aussitôt que ce métier est tout proche d'un autre, fort intéressant, et bien lointain, semblait-il : celui des *Tracés de Chaudronnerie*. Il est en effet certain que le découpage d'une feuille de métal en longs fuseaux, de contours spéciaux, pour les cintrer ensuite, les assembler et en faire une vasque, ou une « couverture », ou une « boule », est une opération dont le principe est identique à celui de la coupe et de l'assemblage des morceaux d'une robe princesse ou aussi des pièces constituant la calotte de beaucoup de chapeaux féminins : certains de ceux-ci, d'ailleurs, sont la traduction directe, en tissu, de casques japonais anciens, de fer, qui sont les plus beaux exemples de ce qu'on peut réaliser à l'aide de bandes et de fuseaux assemblés, soudés ou rivés. Les différences entre les deux métiers sont minimes : le métal n'a ni biais ni droit, mais, sauf exception, les plis doivent y être évités, et il faut savoir les prévenir ou les faire disparaître; tandis que si la robe connaît la servitude du fil, elle peut tirer avantage des plis et des « fronces ». Et il est à peine besoin d'ajouter que dans les Tracés de Chaudronnerie se retrouve le même souci constant des géodésiques.

La structure du Tissu touche, d'autre part, à des opérations d'un caractère défini, indépendantes de la question des géodésiques, mais qu'il importe de noter ici en une brève parenthèse.

Digitized by Google

L'Art du Tissu, tout entier (1), repose sur celui des armures. On appelle *armure* d'un tissu la manière dont sont groupés et entrelacés les fils des deux systèmes, perpendiculaires entre eux, de chaîne et de trame. Le nombre des armures possibles est infini. On peut les ramener à certains types, ou armures fondamentales, dont elles dérivent par combinaisons diverses. Elles doivent, en outre, observer deux conditions principales : 1° que les fils ne passent pas les uns sous les autres à des intervalles trop éloignés, n'aient pas, comme on dit, trop de *flotté*, car le coefficient de déformation d'un tissu et sa résistance à l'usage sont fonction du caractère de son armure; 2° les fils de trame, en passant alternativement sur et sous les fils de chaîne, finissent par leur enlever un peu de leur longueur, et par déterminer un retrait global, appelé l'*embuvage*. L'embuvage est aussi lié au caractère de l'armure. La deuxième condition est que l'armure donne un embuvage uniforme, parce que, s'il ne l'était pas, il créerait des régions d'inégale tension : soit des parties relâchées, soit des parties rétractées, voire des ruptures de fils. On peut y remédier, il est vrai, par des montages de chaîne sur plusieurs cylindres de la machine à tisser, mais c'est là une complication qu'il est désirable d'éviter, si on le peut.

Les qualités d'un tissu dépendent donc de son armure et les qualités d'une armure dépendent essentiellement des positions relatives des points de croisement des fils. L'étude des combinaisons de ces points et de leur répercussion sur la tenue du tissu est donc capitale.

Or, il existe une science des combinaisons de points, de lignes, de surfaces et de leurs modifications, qui considère, non plus les relations métriques ou quantitatives, comme dans la Géométrie élémentaire, mais les situations respectives et, plus généralement, les données *qualitatives*. C'est la Géométrie dite « de position », ou « de situation », ou *Analysis situs*, dont la science des armures est un cas particulier, et dont l'Art du Tissu dépend.

Il en dépend d'autant plus que le choix d'une armure n'est pas la seule circonstance où la place de certains éléments joue un rôle important. Un tissu est, en général, décoré par la répétition de motifs

(1) La Couture en est l'*un* des domaines, tout comme le Tracé en Chaudronnerie est l'*un* des domaines de l'Art du Métal.

Digitized by Google

disposés en bandes parallèles ou en réseau droit, et un même problème de « disposition » se présente pour en assurer les raccords.

Un autre problème intéressant est proposé par le tissage des robes *en forme* ou, plus exactement, au décor tissé « en forme », terme dont la signification est la suivante. Un tissu n'a pas, d'ordinaire, une destination unique et exclusive. Construit plan, il est décoré comme tel, et c'est à l'acheteur de le choisir en vue d'un usage donné et de trouver comment l'employer au mieux. On y arrive couramment. Cependant, si le tissu n'est pas destiné à rester plan. mais doit recouvrir une surface courbe, et surtout une surface gauche, il est certain que, par souci d'art, on désirera voir tisser un décor qui, lorsque l'étoffe sera mise en la forme voulue, prendra un aspect déterminé. On réalisera ainsi une harmonie, impossible à obtenir par tout autre moyen, quel qu'il soit. Le problème n'est autre, on le voit, que la *représentation* plane (1) d'une surface courbe. Si la surface est développable, il est relativement aisé. Si la surface est gauche, il peut se compliquer grandement par l'obligation de supposer le tissu découpé en morceaux, de donner au décor, dans chacun d'eux, une déformation particulière, souvent différente, et de trouver le moyen de tisser le tout. On conçoit que l'on ait fait assez peu de pièces dont le décor soit tissé « en forme ». On les réservait jadis aux robes d'apparat, au XVIII^e siècle seulement, et un peu sous Napoléon III. De nos jours, M. Michel Dubost, l'artiste et technicien bien connu, a mis tous ses soins à en réaliser plusieurs.

L'*Analysis situs* s'occupe, modestement, en ses débuts, des jeux de dames, de dominos, de la marelle. etc., puis elle rencontre les arrangements des « raccords » et des carrelages, et ceux des couleurs, pour les cartes de géographie, etc.; plus loin, elle considère les divisions des surfaces, et de l'espace, et l'intérêt de leur étude pour la compréhension des phénomènes de segmentation cellulaire et de la structure des tissus vivants est évident; plus loin encore, elle envisage des groupes, très généraux, de transformations de figures, et touche, en même temps, en Analyse mathématique, à des points importants de la Théorie des Fonctions; etc.

L'Art du Tissu est donc apparenté à une branche élevée de la Mathématique.

---

(1) *Cf.* pour la définition de ce terme, § 32, p. 125.

Digitized by Google

Il n'est pas le seul. Beaucoup de métiers en relèvent aussi, sans préjudice de leur dépendance envers d'autres branches des Sciences exactes.

Existe-t-il, pour les principaux *métiers*, des traités de *vraie* technologie, c'est-à-dire de vraie *science* de leur technique : l'exposé rigoureux des principes généraux qui la régissent et l'expliquent, et la raison d'être, précise, de ses diverses modalités ?

Il est d'abord, pour la technique, d'une importance grande et féconde, de pouvoir situer exactement son sujet dans l'ensemble de nos connaissances.

D'autre part, dans l'étude de certaines branches des Sciences exactes, de très bons esprits peuvent être parfois déconcertés par un appareil trop purement théorique. Ils trouveraient, dans nombre de métiers, d'excellents exemples pour fixer leurs idées, d'autant plus faciles à comprendre qu'il s'agit souvent de choses familières.

Et il y aurait aussi avantage réciproque, et pour les métiers, et pour les savants, lorsque ceux-ci se pencheraient sur ceux-là.

VI. Du vêtement, on passe tout naturellement au muscle, et celui-ci nous donne d'autres exemples de géodésiques.

D'après la propriété mécanique ou physique reconnue aux géodésiques, il résulte qu'à certains égards, sous la réserve de certaines précisions, un arc de géodésique est le plus court chemin pour aller, sur la surface, d'un point à un autre. On doit donc s'attendre à rencontrer souvent des géodésiques dans les circonstances où interviennent des questions de *minimum* [1] : distances, vitesses, temps, énergies, tensions, etc.

Et en effet :

Que nos muscles soient des massifs pleins ou forment la paroi de viscères creux, les fibres musculaires de la surface sont, en général, disposées en géodésiques de celle-ci : pour une triple raison de tension, de minimum et d'équilibre d'un système déformable. On s'en rend

[1] Plus exactement : on est fondé à rechercher des géodésiques dans les circonstances où jouent des questions d'*extremum*, terme qui englobe minimum et maximum. Mais le minimum surtout nous intéresse ici, et nous ne préciserons pas plus avant.

Digitized by Google

compte aisément en imaginant une fibre qui occuperait une configuration quelconque : l'exercice du muscle et la plasticité de la matière vivante la feraient tendre fatalement vers une géodésique. Nous avons dit « en général », parce qu'un organe ne se développe pas seul et que des influences voisines peuvent venir modifier plus ou moins le cas général.

On trouve d'autres géodésiques plus loin dans le muscle. Dans un Mémoire intéressant (1), R. Anthony rappelle que l'on discute depuis cinquante ans, sans aboutir sur la signification de la striation « hélicoïdale double, oblique, et losangée » de certaines fibres musculaires des Invertébrés. La présence de cette striation serait en relation avec la rapidité de la contraction. Cette circonstance et la forme cylindrée de la fibre renforcent encore la triple raison précédente : il semble bien qu'il s'agisse simplement d'un réseau de géodésiques.

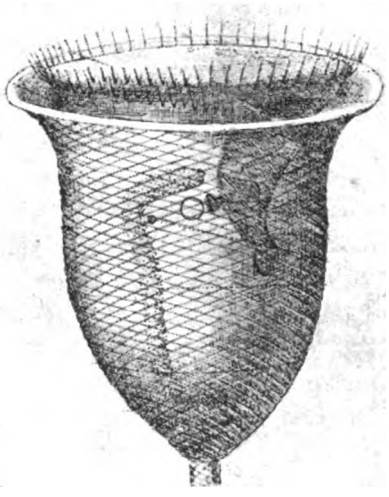
De plus, les diverses hélices qu'on peut tracer sur un cylindre de révolution ont chacune pour limite, d'une part, lorsque le « pas » tend vers zéro, un cercle de section droite, et, d'autre part, lorsque le « pas » croît indéfiniment, une des génératrices rectilignes du cylindre. R. Anthony, indépendamment des arguments fonctionnels qu'il apporte, est donc fondé à voir, dans la fibre dite losangée, un stade intermédiaire entre la fibre lisse et la fibre striée transversalement. Seulement, un point reste à préciser, dû à ce fait que sur une fibre striée se voient souvent, non seulement l'une des deux familles de géodésiques (les cercles), mais aussi l'autre (les génératrices rectilignes); il est, en effet, simple à concevoir que les deux familles à losanges puissent tendre *ensemble* soit vers des cercles, soit vers des génératrices rectilignes, mais on comprend moins aisément que l'une et l'autre des deux familles puissent tendre vers une limite différente. La cause serait d'ailleurs entendue si l'on pouvait s'assurer que, des deux systèmes de lignes visibles sur les fibres striées transversalement, l'un seulement est en relation avec les deux familles des fibres à losanges.

Plus avant dans la série animale, un autre exemple est donné par les Vorticelles. On sait quels brusques mouvements sont les leurs. Des fibrilles contractiles dessinent aussi, sur leur minuscule

(1) R. ANTHONY. *Le déterminisme et l'adaptation morphologiques en Biologie animale* (*Archives de Morphologie générale et expérimentale*, Paris, Doin, 1922).

Digitized by Google

calice, une striation double, oblique, losangée (1) (*fig.* 81); toutes les apparences sont pour un réseau de familles de géodésiques. Ce réseau



Vorticella en état d'extension (Sch.).

Fig. 81.
(Schäfer.)

se continue sur le pédoncule du calice, qui, en extension, est pratiquement un cylindre de révolution, et là les fibrilles dessinent des hélices franches, où le fait géodésique est aussi certain qu'évident.

VII. Enfin, un fait d'observation courante montre que les géodésiques sont, autour de nous, beaucoup plus fréquentes qu'on ne pourrait le penser.

Un peu plus haut, nous notions, dans les surfaces naturelles, la

(1) Nous ne dirons pas *hélicoïdale*. Non qu'il ne nous paraisse très probable que ces fibrilles ne soient disposées en hélices, mais cela n'est pas encore *démontré*. En effet, être « enroulée » ne suffit nullement à une courbe pour être hélice. Il faut en outre qu'elle soit isogonale aux génératrices d'un cylindre. La chose est peut-être vraie ici, mais on ne peut l'affirmer d'avance.

Digitized by Google

présence de lignes de courbure. Or, dans la grande majorité des cas, sur les deux familles de lignes de courbure, une seule apparaît, et celle-ci est géodésique. Et si les deux familles apparaissent, en général les deux sont géodésiques (1). Les lignes de courbure ne seraient donc pas là en tant que lignes de courbure, mais en tant que géodésiques.

La raison doit, vraisemblablement, en être cherchée, d'une part, dans les relations entre géodésiques et questions de minimum (ou d'extremum), et d'autre part, dans la façon dont joue, dans la nature, le principe de moindre action (ou d'extremum).

Mais le problème n'a pas été étudié, et nous ne pouvons actuellement rien dire de plus.

30. — AUTRES FAMILLES DE COURBES. PRESSIONS ET TENSIONS.

Du muscle, il est bien naturel de passer à l'os, engendré par lui. Nous allons quitter un instant les réseaux, mais nous les retrouverons aux paragraphes 32 et 33.

Les familles de courbes que nous venons de voir couvrent des *surfaces*.

Sans quitter les tensions, on peut rencontrer des faisceaux de courbes définies, qui occupent des *volumes*.

Ainsi, l'application, à un corps solide, de diverses forces, crée, en chaque point de sa masse, un certain état de tension, étudié en des chapitres spéciaux de la Mécanique (2).

D'où, parmi d'autres, des précisions à l'égard des *flexions* et des *moments fléchissants*, des *pressions* et des *tensions*, des efforts *tranchants* ou de *cisaillement*, etc.

Par exemple, dans le cas, relativement simple, d'un bout de poutre encastrée dans un mur, et dont on charge l'extrémité, comme l'indique la figure 82, en chaque plan de section verticale de la poutre se développent des *pressions* et des *tensions*, réparties (3) en

(1) En observant, on n'oubliera pas que le plan et la sphère sont des figures très particulières, parce que toute ligne, tracée sur l'une ou sur l'autre, y est toujours ligne de courbure.

(2) Élasticité; Résistance des matériaux.

(3) Strictement parlant : « Dont les *lignes-enveloppes* sont réparties, etc. »

Digitized by Google

deux familles de courbes orthogonales. Et leur ensemble forme un double faisceau, qui occupe tout le volume de la poutre.

La figure 82 est empruntée à un ouvrage du savant réputé S. Schwendener (1). Elle correspond au cas précis d'une poutre de section rectangulaire, homogène. Sa longueur est celle représentée par la figure, avec BC = 2^{cm}, et une épaisseur (perpendiculaire au plan du papier) de 1^{cm}. Le poids P, appliqué à son extrémité libre, est de 2^{1g}.

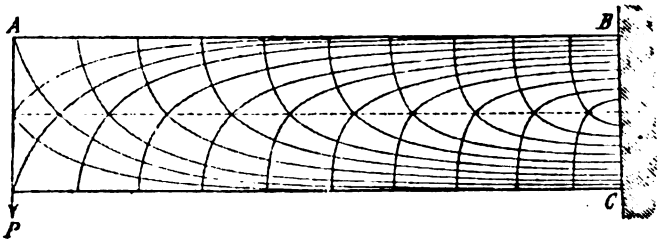


Fig. 82. — Lignes-enveloppes des pressions et des tensions dans la section longitudinale d'une poutre chargée (Schw.).

On prévoit que, dans la nature, d'étroites relations doivent exister entre les formes, les structures et les faisceaux de courbes.

Une des illustrations les plus nettes en est donnée par les os.

En Anatomie, il est classique de noter l'accord profond entre la structure des os et leur fonction, et de souligner que les trabécules (2) du tissu de remplissage, dit « spongieux », sont disposés de manière à offrir une résistance mécanique optima. Mais l'explication de ce fait est à peine abordée dans les traités habituels, ou même déclarée inconnue.

Cependant, on la trouve, dès 1874, dans le livre de Schwendener. On reconnaît, d'abord, dans la forme et la disposition des files des trabécules osseux, les deux familles orthogonales des lignes-enve-

(1) *Das Mechanische Princip im Anatomischen Bau der Monocotylen* (Leipzig, Engelmann, 1874). SCHWENDENER, botaniste et mathématicien, fut professeur successivement à Bâle, Tubingen et Berlin.

(2) Diminutif de *travées*.

Digitized by Google

loppes de pression et de tension, caractéristiques d'une construction

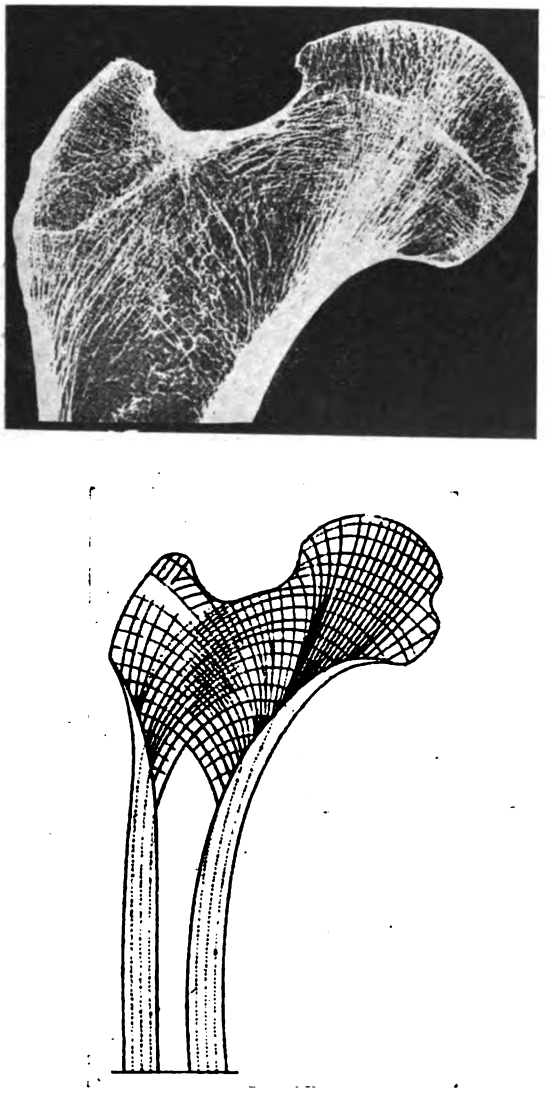


Fig. 83. — Section d'une tête de fémur, et schéma de la structure (Schäfer et Hermann Meyer) (d'A. W. Th.).

chargée : étant répartis comme ces lignes-enveloppes, les trabécules opposent aux actions subies la résistance optima. Les figures 83 et 84

Digitized by Google

reproduisent les sections d'une tête de fémur, et d'un calcaneum, accompagnées du relevé schématique de la structure.

Mais comment se fait-il que les dépôts solides, dans les os, aient précisément reçu une telle configuration ?

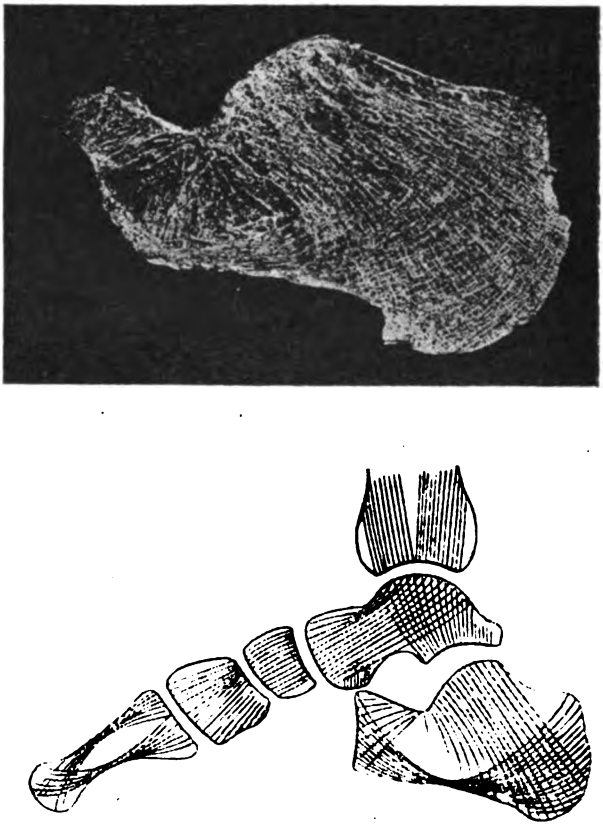


Fig. 84. — Section d'un calcaneum et schéma de la structure (Mac Alister et Hermann Meyer) (d'A. W. Th.).

Par la raison très simple que toute autre disposition leur est matériellement impossible, et voici pourquoi.

A l'intérieur d'un corps chargé ne se développent pas seulement des pressions et des tensions, mais aussi des efforts dits ***tranchants***, de distorsion ou de cisaillement, et dont les effets (souvent très

Digitized by Google

considérables, comme on le verra dans un instant) élimineraient tout dépôt naissant.

Or, les efforts tranchants ont des valeurs diverses dans les directions diversement inclinées sur les lignes-enveloppes des pressions et des tensions, *mais ils sont nuls tout le long de ces lignes.* Les particules osseuses se sont donc déposées *aux seuls endroits où il leur était physiquement possible de rester*, et l'explication, on le voit, est d'une extrême simplicité.

Une démonstration expérimentale des plus remarquables a été apportée à la proposition précédente, en 1917, au Val-de-Grâce, par les recherches de trois personnes, dont aucune ne connaissait le travail du savant allemand : le Dr Léon Frey (1), et ses collaborateurs, MM. Barrieu (2) et Jourdain (3).

On appelle *occlusion*, en physiologie dentaire, le fait qu'à l'état normal les dents se rencontrent et s'engrènent.

Lorsque l'occlusion est altérée ou détruite, le premier et principal soin de la *prothèse* est de réaliser un appareil qui la restaure.

En général, et même en cas de fracture du maxillaire inférieur, le rétablissement de l'occlusion suffit pour amener la guérison : consolidation autogène, ou condition de sécurité pour l'avenir d'une greffe.

Pas toujours, cependant.

En 1917, M. Frey vit arriver de nombreux blessés cicatrisés ayant eu de telles fractures, dotés d'un appareil de prothèse très solide, et qui, avec une occlusion parfaite, présentaient cependant des troubles variés, souvent aigus.

Tous, d'abord, avaient de la pseudarthrose : avec ou sans perte de substance du maxillaire, les fragments affrontés ne s'étaient pas, comme d'ordinaire, consolidés (4), et, sans la contention due à l'appareil, restaient mobiles l'un envers l'autre, à la manière d'une fausse,

---

(1) Chef du Service central de Stomatologie et de Prothèse maxillo-faciale.

(2) Chirurgien-dentiste.

(3) Prothésiste.

(4) Dans la branche horizontale du maxillaire inférieur, la réparation par ostéogénèse est, d'habitude, peut-on dire, fort active, en raison du diamètre considérable de l'artère dentaire, qui assure aux tissus une nutrition particulièrement abondante. C'est ce qui rend notre exemple très concluant.

Digitized by Google

ou pseudo-articulation. Même avec la contention, guérison jamais atteinte, par conséquent.

On voyait ensuite les uns souffrir de réactions inflammatoires fort intenses, péridentaires ou gingivales. Chez d'autres, on trouvait des fêlures dans les pièces métalliques, cependant très résistantes, de la prothèse, ou le descellement plus ou moins complet de l'appareil, ou même une mobilité des fragments osseux, échappant à la contention. Etc.

La raison de tous ces maux venait de ce que l'occlusion de jadis, avant la blessure, *correspondait* à un certain cortège d'efforts (1) dus aux muscles liés à l'os. Mais un dégât musculaire, survenu en même temps que le dégât osseux, changeait les conditions du système, et développait de nouveaux efforts tranchants, non compensés maintenant par la seule occlusion, et dont la première conséquence, et mécaniquement la moindre, était d'empêcher toute régénération osseuse.

Il fallait donc trouver, pour les fragments osseux, une position nouvelle, et les y solidariser. Un appareil très ingénieux fut conçu et réalisé par M. Jourdain, permettant de rechercher cette position, et d'immobiliser les deux fragments lorsqu'elle est trouvée (2).

L'opération se contrôlait en quelque sorte elle-même, car avec un meilleur fonctionnement survenait la réfection musculaire, d'où de nouvelles conditions dynamiques, et une nouvelle compensation à trouver. Et en quelques étapes le patient connaissait un optimum définitif.

Les succès les plus francs montrèrent l'exactitude de toute cette manière de voir : suppression des accidents, accroissement régulier de la force masticatrice, consolidation, et, en cas de greffe désirable, conditions de sécurité absolue pour l'avenir du greffon. Le plus émouvant, peut-être, était de voir, dans les cas de soudure directe, se déclencher la régénération osseuse et d'en suivre, à la radio, tous les progrès.

---

(1) Élévateurs simples; abaisseurs; obliques, donnant des mouvements latéraux.

(2) *Cf.* dans la *Restauration maxillo-faciale* de novembre 1917 : *L'Équilibre des Fragments dans les pseudarthroses du maxillaire inférieur (appareil de Jourdain)* par MM. Frey et Barrieu.

Digitized by Google

Remarque.

Certains aspects de la structure osseuse se présentent ainsi comme des illustrations de la théorie de l'élasticité. Dans un domaine voisin, des considérations de Statique permettent de rendre compte, en première approximation, de la disposition des diverses pièces d'un squelette, les unes par rapport aux autres, et dans leur ensemble. M. d'A. W. Thompson (1) a fait une comparaison originale entre le « pont quadrupède » et les ponts métalliques modernes, ceux dits « à poutres discontinues » ou du type « cantilever ». Et il aboutit à cette conclusion motivée qu'en faisant de son mieux pour établir l'épure d'une membrure de cantilever, l'ingénieur de nos jours se borne à retrouver, sans le savoir, les données toutes offertes par les squelettes des grands sauriens et des gros mammifères.

Si l'on suit, à son tour, ces indications, on voit aussitôt que les squelettes de plusieurs groupes de Radiolaires se prêtent à une analyse du même genre, particulièrement suggestive. Reprenons ceux dont il a été question au début, où nous annoncions une précision à venir (2). En laissant de côté la manière dont peuvent être, ou non, remplies leurs faces, on y distingue essentiellement un assemblage régulier, ou semi-régulier, de barrettes rectilignes, tel qu'en offrirait un polyèdre réduit à ses arêtes et portant souvent des spicules qui explicitent certains de ses axes. Les Phæodariés figurés avaient été choisis parmi les plus simples. Comme exemple de complication (toujours bien ordonnée), on peut citer les *Aulosphéridés*. Que l'on imagine un grillage sphérique de 2^{mm} de diamètre, composé d'un réseau semi-régulier d'hexagones et de triangles juxtaposés. Les hexagones sont contigus, opposés par les sommets. Chacun d'eux est la base d'une petite pyramide hexagonale (3), surmontée d'un spicule radial, c'est-à-dire que ce minuscule segment rectiligne, prolongé, après avoir passé par le centre de l'hexagone de base, irait

(1) *Loc. cit.*

(2) Chap. I, § 3, p. 7.

(3) Entièrement ajourée, tout comme le réseau de base. Ici les « barrettes » sont des *tubes* de silice, remplis de gelée protoplasmique, ayant de $0^{mm},1$ à $0^{mm},2$ de longueur, et pour diamètre de $0^{mm},003$ à $0^{mm},005$.

Digitized by Google

concourir, avec tous ses pareils, au centre de la sphère. Et celle-ci porte de 250 à 300 telles pyramides, simples ou compliquées. V. Haecker a reconnu que ces échafaudages réticulés sont intérieurs à la gelée unicellulaire constituant tout l'animal vivant, et qu'une membrane externe, reposant sur tous les sommets du polyèdre ou sur tous les spicules lorsque les sommets en portent, transmet à l'échafaudage les pressions exercées de tous côtés par le fluide environnant (1). Or un examen, assez élémentaire, permet de se rendre compte que toutes les minimes barrettes de ces édifices *travaillent à la traction et à la compression exactement comme les barres droites d'un système triangulé*, dont l'agencement serait *parfait :* tel que les barres ne subissent d'efforts que dans le sens de leur longueur et opposent ainsi aux déformations éventuelles une résistance optima.

On sait très peu de chose sur les systèmes triangulés à trois dimensions, parce que, dans la pratique, les constructions réalisées par nos ingénieurs se ramènent en général à des systèmes plans. L'architecture des Radiolaires propose donc des problèmes du plus grand intérêt. A notre connaissance, en dehors du peu qui vient d'être dit, ils n'ont pas été envisagés. En particulier, on ne sait rien sur le déterminisme des symétries, ni sur le remplissage des faces, lorsqu'il a lieu.

Autre remarque.

Dans la croissance de l'os, il est bien certain que les particules des travées ne vont pas, avec discernement, se placer, une par une, dans l'alignement courbe nécessaire. La probabilité maxima est, au contraire, pour qu'en un point quelconque les dépôts aient tendance à s'effectuer indifféremment dans toutes les directions. Et ce sont les restrictions, dues aux efforts tranchants, qui orientent et créent les alignements.

Si l'on pense au déterminisme de la forme des poissons, de l'ombrelle des méduses, et si l'on se reporte à de nombreux points touchés aupa-

---

(1) *Cf.* le bel ouvrage : Valentin Haecker, *Tiefsee-Radiolarien* (Iena, Fischer, 1908).

Digitized by Google

ravant, on s'aperçoit que partout la même remarque peut être faite, et qu'il y a des chances pour qu'elle soit générale.

La nature, en somme, est anarchique. Dans la nature, ce n'est pas l'ordre, mais le désordre qui serait de règle. Seulement, la multiplicité des tendances diverses et leur coexistence au même lieu, au même moment, créent des rencontres et des contraintes. Et l'ordre naît des contraintes et du conflit des contraintes : *il en est le diagramme.*

Le désordre n'a donc guère besoin d'explication. Mais on est toujours fondé à en chercher une à l'ordre.

A *un* ordre, devrait-on dire. En effet, il n'y a pas « l'ordre », il y a *des* ordres de différents genres, auxquels sont liées diverses possibilités, des « degrés de liberté », en nombre plus ou moins grand.

Le désordre, ou un désordre, ne serait que la limite vers quoi tendrait l'état d'un système, lorsque le nombre de ses degrés de liberté croîtrait indéfiniment. Limite d'autant plus fictive que, pratiquement, les conditions physiques d'un système naturel se trouvent toujours réduire à *un* le nombre des degrés de liberté : tel est le *déterminisme.*

L'autre limite, lorsque le nombre des degrés de liberté serait nul, n'a guère plus de sens : elle serait un néant.

Et la liberté, on le voit, varie exactement en raison inverse de l'ordre.

Enfin, il ne faut jamais oublier que l'état (au singulier) d'un système naturel n'est jamais (1) que relatif à un instant donné : il est un instantané. En général, tout évolue, tout varie sans cesse avec le temps, et les choses ne deviennent compréhensibles que lorsque sont explicités leurs rapports avec lui (2).

Le temps pèse, si l'on peut dire, sur le problème de la liberté.

Nous ne concevons la présence simultanée de plusieurs degrés de liberté, que parce que nous pouvons, par notre imagination, nous affranchir du temps. La nature, jamais.

Un tout petit exemple : un point, mobile sur une courbe, possède un degré de liberté. Sur une surface, il en aurait deux; dans l'espace,

(1) Sauf restriction ou fragmentation, délibérément voulues, du problème.

(2) Sans préjudice, bien entendu, d'autres données qui pourraient aussi être nécessaires.

Digitized by Google

trois; etc. Mais un point ne peut être, au même instant, en plus d'un endroit à la fois. Quelles que soient les positions qu'il occupe, elles ne sont jamais que successives, et il n'a, physiquement, de ce fait, qu'un seul degré de liberté.

A côté du domaine naturel, c'est-à-dire commun aux hommes et aux choses, nous pouvons donc en constituer un autre, à notre seul usage d'humains, et même, dans certains cas, à notre usage individuel.

Ce second domaine n'est point du tout opposé au premier. Il en est différent, mais dépendant, car lié à lui, étroitement.

Il n'est, pas davantage, moins ou plus réel, utile, ou intéressant, que le premier, car la connaissance de chacun d'eux importe grandement pour la bonne compréhension de l'autre; et l'intérêt essentiel et suprême est dans l'étude approfondie de leurs liens réciproques.

Il est regrettable que beaucoup de discussions ne mentionnent jamais le temps, et appliquent inconsidérément à l'un des deux domaines les données relatives à l'autre, et inversement : prime aux confusions et aux contradictions insolubles.

Il est dangereux aussi de parler avec des « absolus » (1), alors que ceux-ci ne sont, en général, comme nous venons de le voir, que des états-limites théoriques, et n'ayant point de consistance, si l'on ne précise, tout d'abord, par rapport à quelles données on les considère.

Il apparaît ainsi que l'étude, bien conduite, du rôle exact de l'imagination, serait d'une importance considérable, et que les problèmes de la Réalité et de la Connaissance gagneraient à être repris sur des bases bien définies.

31. — FORMES ASSOCIÉES.

Enveloppes.

Nous venons de rencontrer, au paragraphe précédent, les lignes-enveloppes de pressions et de tensions. La définition de l'*enveloppe*

(1) L'ordre, la liberté, la réalité, etc., au singulier, et en soi.

Digitized by Google

d'une famille de formes a été omise avec intention, mais il est bon d'en avoir une idée, par un ou deux exemples simples.

Soient, dans un plan, un point fixe, et une droite mobile assujettie à rester à une distance constante du point. L'ensemble des positions possibles de la droite formera une famille de droites, disposées tout autour du point (*fig.* 85, à gauche).

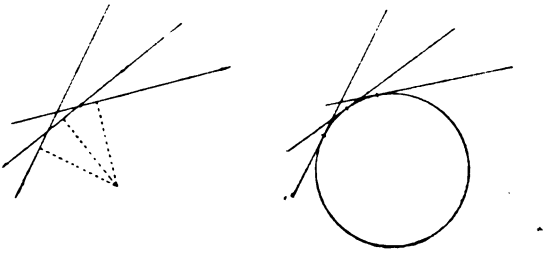


Fig. 85. — Enveloppe d'une famille de droites.

Il est à peine besoin d'ajouter que si l'on trace le cercle qui a pour centre le point fixe, et pour rayon la distance constante assignée aux droites, l'une quelconque de celles-ci le touchera, lui sera *tangente* : le cercle est dit l'*enveloppe* de la famille de ces droites (*fig.* 85, à droite).

Sans préciser davantage, supposons une courbe qui subisse une variation continue, soit en changeant de place, soit en changeant de forme, soit en combinant les deux. Les figures successives qu'elle dessine constituent une famille. Si, pendant ces modifications, la courbe variable ne cesse pas d'être tangente à une certaine autre courbe, fixe, cette dernière est dite l'*enveloppe* de la famille considérée.

Un mécanisme simple peut donner une bonne illustration de la notion d'enveloppe dans le plan. Soit une petite tige rectiligne, façonnée de manière que ses extrémités puissent se mouvoir dans deux glissières rectangulaires, sans les quitter. Les positions successives de la tige constituent une famille de droites. En dessinant divers stades de cette variation, la forme de l'enveloppe se dégage assez vite (*fig.* 86); et l'on peut démontrer qu'elle est un hypocycloïde à quatre rebroussements, dont il a déjà été parlé au début du Chapitre I, (§ 7).

Dans cette famille de droites, il s'agit d'un simple changement

Digitized by Google

de place. Voici maintenant des variations dans la forme. Considérons un point déterminé sur la tige mobile. Dans le mouvement de la tige,

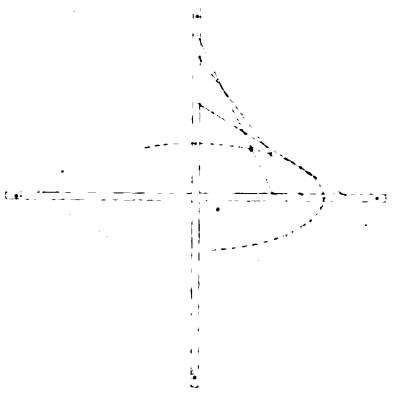


Fig. 86. — Autre famille de droites; son enveloppe et la trajectoire d'un point.

ce point décrit une trajectoire, et l'on pourra s'assurer facilement que cette trajectoire est une ellipse. En prenant successivement divers points de la tige, d'une extrémité vers l'autre, les trajectoires de ces

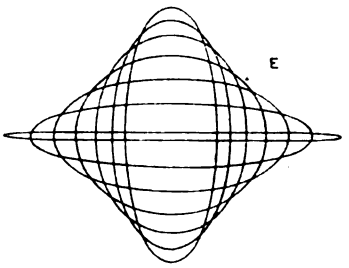


Fig. 87. — Famille d'ellipses, trajectoires des divers points de la droite mobile de la figure précédente.

points constitueront une famille d'ellipses, qui vont en s'aplatissant de plus en plus dans le sens vertical et dans le sens horizontal (*fig.* 87). Et l'enveloppe de cette famille d'ellipses est le même hypocycloïde déjà trouvé, car rien n'empêche une courbe d'être enveloppe commune à deux familles.

On peut signaler, en passant, que la limite de l'aplatissement

Digitized by Google

horizontal est un segment de droite, égal en longueur à la tige donnée, que la limite de l'aplatissement vertical en donne un autre, égal au premier, et qu'entre deux, il y a un stade médian, correspondant à la trajectoire du milieu de la tige, et où l'ellipse est devenue un cercle (*fig.* 88). Cette remarque nous servira dans un instant.

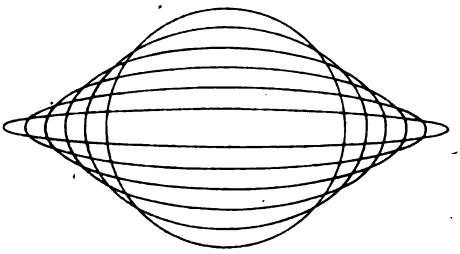


Fig. 88. — L'une des ellipses de la famille précédente est un cercle.

La notion d'enveloppe s'étend facilement aux courbes gauches et aux surfaces. Nous avons, en particulier, déjà rencontré un exemple d'enveloppe à une famille de surfaces : la seconde des surfaces de M. J. Caron (p. 68, *fig.* 62) est l'enveloppe d'une famille de sphères, de rayon variable, et dont le centre décrit une hélice-spirale [1].

Développées.

Une famille de courbes n'a pas forcément une enveloppe ; des cercles concentriques forment une famille, et celle-ci n'a pas d'enveloppe.

Une enveloppe peut aussi se réduire à un simple point : les rayons d'un cercle forment aussi une famille. Mais ils se coupent tous au centre du cercle et ont pour enveloppe ce point seulement.

On peut suivre, pas à pas, cette « réduction » de la manière suivante :

Observons d'abord qu'un rayon d'un cercle est perpendiculaire au cercle, à son point d'intersection avec lui. La perpendiculaire à

---

[1] Un peu plus loin (p. 116, 117), sera précisée la définition de la courbe hélice-spirale.

Digitized by Google

une courbe, en un de ses points, a reçu le nom particulier de *normale* à cette courbe.

En général, les normales à une courbe ont une enveloppe, et même une infinité d'enveloppes, circonstance que nous retrouverons tout à l'heure, et ces enveloppes sont appelées les *développées* de la courbe considérée (1). Celle-ci, par rapport à ses développées, est une *développante* (2).

Dans le cas d'une courbe plane, il y a une des développées qui est plane aussi. Bornons-nous, pour le moment, à une courbe plane et à sa développée plane, et prenons un exemple. Nous avons vu, il y a un instant, que l'on pouvait passer continûment d'une ellipse à un cercle. En prenant une ellipse d'excentricité moyenne (ou moyennement aplatie), il est facile d'en construire la développée en traçant un certain nombre de tangentes (autant qu'on le jugera désirable), et en élevant les perpendiculaires à ces tangentes, en leur point de contact avec l'ellipse : la développée est à quatre rebroussements, avec les deux axes inégaux (*fig.* 89).

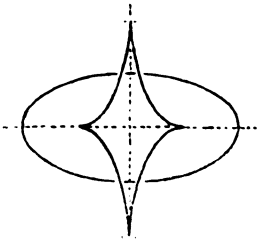


Fig. 89. — Ellipse et sa développée.

Ces axes inégaux sont liés à la courbure de l'ellipse, plus grands là où elle est faible, et inversement. Pour une ellipse très aplatie, la développée serait très allongée dans le sens perpendiculaire à cet aplatissement, et sortirait beaucoup de l'ellipse. Au contraire, si l'on construit les développées d'ellipses dont l'excentricité décroît constamment, on les voit diminuer et se ramasser sur elles-mêmes

(1) La développée d'une cycloïde est une autre cycloïde égale; la chaînette est la développée de la tractrice; etc.

(2) Une courbe a aussi une infinité de développantes.

Digitized by Google

de plus en plus, et tendre vers un point, au centre, lorsque l'ellipse tend vers le cercle, ainsi que nous l'annoncions.

Remarque.

Les considérations précédentes ne sont pas proposées comme jeu intellectuel, ou pour le gain, bien minime, de s'assurer que le centre d'un cercle est bien réellement l'enveloppe de ses rayons.

Nous avons désiré, une fois de plus, souligner ce fait qu'*une* figure est toujours un cas particulier, et qu'il faut examiner beaucoup de figures pour en dégager le type, la loi générale, qui importent d'abord. Après, vient la particularisation.

Ceci est d'autant plus nécessaire qu'en raison de la multiplicité des facteurs d'influence, il est rare que les formes naturelles soient *rigoureusement* identiques aux formes définies signalées à leur propos. Approximation qui, d'ailleurs, n'enlève rien à l'intérêt de la recherche, bien au contraire. Elle permet, en effet, de reconnaître la multiplicité de facteurs en œuvre. Mais seule une pratique suffisante du maniement des formes définies permettra de les discerner sous les apparences où elles peuvent être masquées.

L'intérêt de cette discrimination réside dans les rapports qui lient la Forme et la Fonction, question importante, que l'exposé actuel précisera.

En ce qui concerne l'ellipse et ses développées, nous les avons choisies parce qu'on les retrouve dans l'étude difficile de la dynamique cellulaire, lors de la division dite indirecte, par *mitose* et *karyokinèse* (1).

Dans une cellule s'exercent des forces, très différentes des tensions élastiques qui ont modelé les os, différentes de nature et d'échelle : la *tension superficielle* et l'*osmose* (2). Le « champ de forces » se révèle par une orientation des particules visibles, le long des lignes-enve-

(1) Du grec *mitos* : fil. La première dénomination fait allusion aux filaments particuliers distingués dans la cellule. La seconde, aux mouvements du noyau : *karuos*, noyau; *kinésis*, mouvement.

(2) Sans préjudice d'autres forces, bien entendu. Il a été fait allusion à la tension superficielle, plus haut, à l'occasion des surfaces minima, et CMC (p. 34). Onalre trouvera, avec l'osmose, plus en détail, au Chapitre IV.

Digitized by Google

une courbe, en un de ses points, a reçu le nom particulier de *normale* à cette courbe.

En général, les normales à une courbe ont une enveloppe, et même une infinité d'enveloppes, circonstance que nous retrouverons tout à l'heure, et ces enveloppes sont appelées les *développées* de la courbe considérée (1). Celle-ci, par rapport à ses développées, est une *développante* (2).

Dans le cas d'une courbe plane, il y a une des développées qui est plane aussi. Bornons-nous, pour le moment, à une courbe plane et à sa développée plane, et prenons un exemple. Nous avons vu, il y a un instant, que l'on pouvait passer continûment d'une ellipse à un cercle. En prenant une ellipse d'excentricité moyenne (ou moyennement aplatie), il est facile d'en construire la développée en traçant un certain nombre de tangentes (autant qu'on le jugera désirable), et en élevant les perpendiculaires à ces tangentes, en leur point de contact avec l'ellipse : la développée est à quatre rebroussements, avec les deux axes inégaux (*fig.* 89).

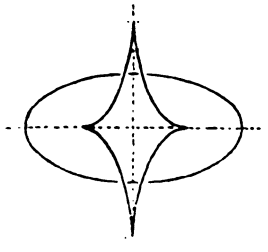


Fig. 89. — Ellipse et sa développée.

Ces axes inégaux sont liés à la courbure de l'ellipse, plus grands là où elle est faible, et inversement. Pour une ellipse très aplatie, la développée serait très allongée dans le sens perpendiculaire à cet aplatissement, et sortirait beaucoup de l'ellipse. Au contraire, si l'on construit les développées d'ellipses dont l'excentricité décroît constamment, on les voit diminuer et se ramasser sur elles-mêmes

(1) La développée d'une cycloïde est une autre cycloïde égale; la chaînette est la développée de la tractrice; etc.

(2) Une courbe a aussi une infinité de développantes.

Digitized by Google

de plus en plus, et tendre vers un point, au centre, lorsque l'ellipse tend vers le cercle, ainsi que nous l'annoncions.

Remarque.

Les considérations précédentes ne sont pas proposées comme jeu intellectuel, ou pour le gain, bien minime, de s'assurer que le centre d'un cercle est bien réellement l'enveloppe de ses rayons.

Nous avons désiré, une fois de plus, souligner ce fait qu'*une* figure est toujours un cas particulier, et qu'il faut examiner beaucoup de figures pour en dégager le type, la loi générale, qui importent d'abord. Après, vient la particularisation.

Ceci est d'autant plus nécessaire qu'en raison de la multiplicité des facteurs d'influence, il est rare que les formes naturelles soient *rigoureusement* identiques aux formes définies signalées à leur propos. Approximation qui, d'ailleurs, n'enlève rien à l'intérêt de la recherche, bien au contraire. Elle permet, en effet, de reconnaître la multiplicité de facteurs en œuvre. Mais seule une pratique suffisante du maniement des formes définies permettra de les discerner sous les apparences où elles peuvent être masquées.

L'intérêt de cette discrimination réside dans les rapports qui lient la Forme et la Fonction, question importante, que l'exposé actuel précisera.

En ce qui concerne l'ellipse et ses développées, nous les avons choisies parce qu'on les retrouve dans l'étude difficile de la dynamique cellulaire, lors de la division dite indirecte, par *mitose* et *karyokinèse* (1).

Dans une cellule s'exercent des forces, très différentes des tensions élastiques qui ont modelé les os, différentes de nature et d'échelle : la *tension superficielle* et l'*osmose* (2). Le « champ de forces » se révèle par une orientation des particules visibles, le long des lignes-enve-

(1) Du grec *mitos* : fil. La première dénomination fait allusion aux filaments particuliers distingués dans la cellule. La seconde, aux mouvements du noyau : *karuos*, noyau; *kinésis*, mouvement.

(2) Sans préjudice d'autres forces, bien entendu. Il a été fait allusion à la tension superficielle, plus haut, à l'occasion des surfaces minima, et CMC (p. 34). Onalre trouvera, avec l'osmose, plus en détail, au Chapitre IV.

Digitized by Google

loppes des forces, avec cette circonstance nouvelle qu'il s'agit d'un mouvement, et non plus d'un phénomène relativement simple à étudier lorsqu'il s'est inscrit dans un dépôt solide.

On peut, en première approximation, assimiler la cellule en travail à un ellipsoïde de révolution. Coupé par un méridien, la section en est une ellipse. Dans ce plan, les forces d'osmose étant toujours normales au contour extérieur, leur enveloppe est la développée plane de l'ellipse. En revenant à l'ellipsoïde complet, la développée engendre une figure de révolution très élégante, représentée figure 90.

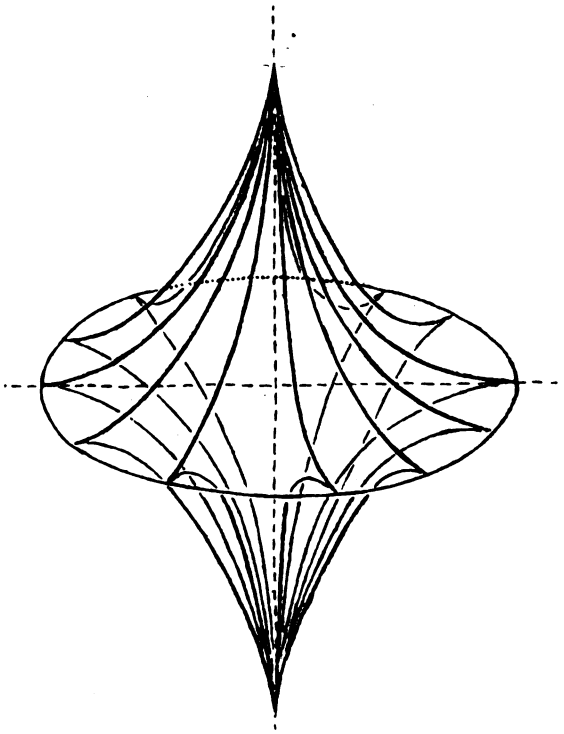


Fig. 90. — Dynamique de la mitose (Fuseau achromatique ayant la forme d'une surface de révolution, dont la méridienne est une développée d'ellipse) (F. Houssay).

Houssay, à qui elle est due, a montré comment ces données, avec d'autres, permettent de rendre compte des apparences dues aux plus

Digitized by Google

intimes manifestations de la vie. On trouvera l'exposé de cette délicate recherche dans son Traité magistral : *La Forme et la Vie* (1).

Développantes.

Il peut être long, mais il est simple de construire la développée d'une courbe plane.

Il est plus aisé encore d'en construire une développante, et voici comment.

Soit à tracer une développante de cercle (2). Supposons le cercle réalisé, par exemple en un disque de bois mince, posé sur une feuille de papier. Prenons un fil flexible et inextensible, attaché, par une de ses extrémités, en un point A du disque, l'autre extrémité C étant terminée par une petite boucle. Enroulons une partie du fil sur le disque, depuis A jusqu'en un autre point quelconque B, et *tendons* la partie BC par une pointe de crayon, passée dans la bouclette terminale (3). On démontre qu'en enroulant davantage le fil, ou en le déroulant, le crayon de l'extrémité mobile trace une développante du cercle. Sans recourir à la démonstration, on se rend bien compte intuitivement qu'un déplacement élémentaire de C, fil tendu, est perpendiculaire à BC. La droite BC est donc normale à la courbe décrite. D'autre part, elle est tangente au disque. Il y a donc, en chaque point, entre le profil du disque et la courbe décrite, la relation de développée à développante (*fig.* 91).

Pratiquement, ce procédé paraît devoir être limité à un seul tour, alors qu'on devrait pouvoir continuer indéfiniment le déroulement, et obtenir une spirale. Mais il est un moyen de la réaliser. Remplaçons le disque par un cylindre de révolution, de même

---

(1) Paris, Schleicher, 1900.

(2) Pour que, dans un engrenage, le rendement soit maximum, et l'usure minima, il faut que les dents en contact pressent les unes contre les autres, sans glisser : *roulent, sans glisser*. La théorie des *roulettes* (mentionnées plus haut, § 9, p. 14) permet de démontrer que le profil des dents doit être un arc de développante de cercle. D'où l'établissement de machines spéciales pour la taille des dents d'engrenage, dans tous les cas.

(3) En général, si l'on prend différentes longueurs de fil, on n'obtient pas la même développante, sauf, précisément, dans le cas particulier du cercle.

Digitized by Google

diamètre. Sur le cylindre, enroulons le fil en *hélice*, c'est-à-dire en faisant un angle *constant* avec les génératrices du cylindre, et déroulons le fil comme précédemment : on démontre que l'extrémité mobile décrira une développante de la *section droite du cylindre*, c'est-à-dire

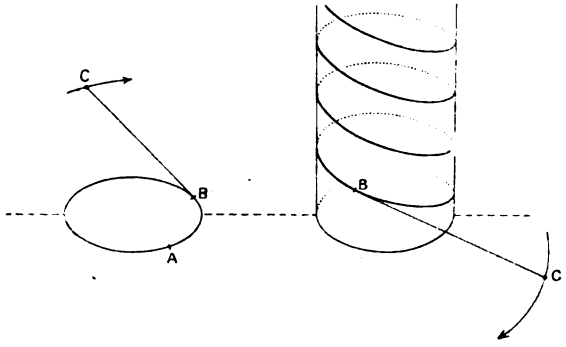


Fig. 91. — Tracé d'une développante de cercle.

du cercle de base considéré, et l'on obtiendra ainsi autant de spires de développante qu'on voudra (*fig.* 91 et 92).

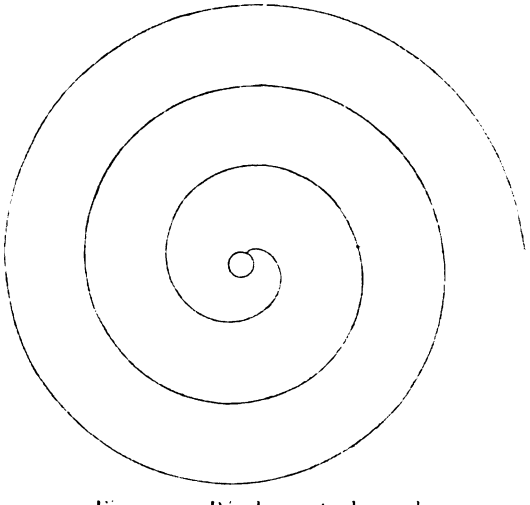


Fig. 92. — Développante de cercle.

Le procédé est valable pour toute courbe plane à condition qu'elle n'ait ni rebroussement, ni inflexion, parce qu'en leur voisinage, la

Digitized by Google

tangence cesserait, puis le fil quitterait la surface du cylindre, et la construction de la développante tomberait en défaut.

Moyennant certaines précautions et conventions (de signes pour la courbure, et de sens pour le mouvement), on peut, d'ailleurs, étendre l'application de ce procédé à une courbe quelconque. Il reste valable, mais devient moins pratique.

Rien n'impose de limite au « pas » de l'hélice. En faisant varier ce « pas », nous aurons donc une infinité d'hélices, d'où une infinité de développantes de la section droite du cylindre, qui, nous venons de le voir, peut être une courbe plane quelconque, de préférence dénuée de rebroussements et d'inflexions.

D'autre part, ces hélices sont toutes des développées de cette même section droite : une courbe plane a donc une infinité de développées.

Finalement, nous nous trouverons avoir obtenu ainsi une vérification expérimentale des deux théorèmes suivants :

« *Une courbe plane a une infinité de développantes.* »

« *Une courbe plane a une infinité de développées*, qui sont les *hélices* tracées sur le *cylindre*, qui a pour *section droite* la *développée plane* de la courbe plane considérée. »

Ajoutons qu'une courbe *quelconque* a une infinité de développées et de développantes; mais, dans la phrase précédente, ce qui suit la première virgule ne concerne, naturellement, que les courbes *planes*.

Cas de l'hélice-spirale. — Nous semblons avoir été entraînés un peu loin des formes naturelles et familières. Mais bien au contraire, ces prémisses nous acheminent, tout doucement, vers une autre vérification expérimentale, assez inattendue, d'un autre théorème de géométrie du même chapitre, et où nous retrouverons une grande classe des formes naturelles définies déjà bien connues de nous.

Nous avons dit plus haut que pour qu'une courbe, tracée sur un cylindre, soit une hélice, elle devait être isogonale aux génératrices de ce cylindre.

Qu'arriverait-il si l'on cherchait la courbe qui, tracée sur un *cône de révolution*, serait isogonale aux génératrices du cône ? On trouverait la courbe, enroulée régulièrement sur le cône, et que nous avons appelée *hélice-spirale*.

Nous allons voir comment cette dénomination se justifie. Supposons

Digitized by Google

le cône de révolution tenu, axe vertical, sommet en bas, sur un plan horizontal (*fig.* 93).

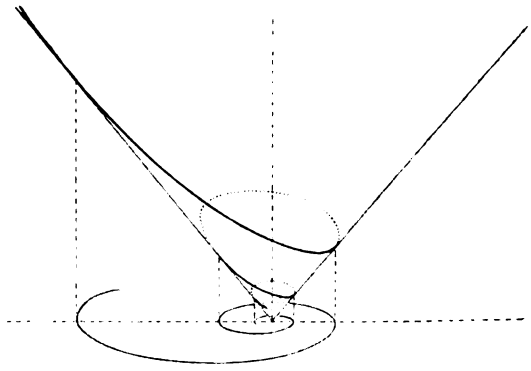


Fig. 93. — Hélice-spirale.

Les verticales, menées par tous les points de l'hélice-spirale, forment un cylindre. On démontre d'abord que ce cylindre dessine, sur le plan horizontal, une spirale logarithmique. En d'autres termes, l'hélice-spirale est l'intersection d'un cône de révolution par un cylindre droit, dont la base est une spirale logarithmique, le sommet du cône étant au pôle de la spirale. On démontre ensuite que, sur ce cylindre, la courbe est également isogonale à ses génératrices rectilignes. Elle est donc une hélice vraie. D'où le double nom d'hélice-spirale.

Cela posé, voici le nouveau théorème dont on propose la vérification :

L'hélice-spirale possède une développante plane, située dans le plan horizontal perpendiculaire à l'axe du cône, et cette développante est encore une spirale logarithmique, dont le pôle coïncide avec le sommet du cône.

Puisqu'en déroulant, comme il a été dit, le fil disposé en hélice sur un cylindre (*fig.* 91), on obtient la développante plane de l'hélice, l'idée vient tout de suite qu'en déroulant, de même, un fil disposé en hélice-spirale sur un cône de révolution (*fig.* 93), on doit obtenir la développante plane de l'hélice-spirale. On vérifierait ensuite que cette courbe plane est bien une spirale logarithmique, et le problème serait résolu.

Digitized by Google

Mais l'opération se heurte d'abord à une petite difficulté pratique. L'hélice-spirale, qui est bien géodésique sur son cylindre de base, ne l'est nullement pour le cône, et dès lors il serait illusoire d'essayer de l'y enrouler de façon stable : on se verrait obligé de l'y dessiner d'abord, puis de l'y graver, afin de pouvoir y insérer un fil. C'est possible, mais long.

La nature, heureusement, nous donne la chose toute réalisée. Des coquilles, nous l'avons vu au paragraphe 25 (p. 67, *fig.* 60), offrent d'innombrables exemples de surfaces-spirales, dont les lignes de suture des spires successives sont des hélices-spirales. Très souvent, ces coquilles s'inscrivent assez bien dans un cône de révolution (1), et ont une ligne de suture en creux, où il est facile d'enrouler un fil, avec toutes les garanties voulues.

Fig. 94. — Coquille de *Pyrula pugilina*.

J'ai choisi deux coquilles très différentes, pour éviter le risque de tomber sur un cas particulier, qui eût donné par hasard le résultat attendu. L'une d'elles est une *Pyrula pugilina*, jeune (*fig.* 94), et l'autre, un *Fusus longicauda* déjà vu (*fig.* 95).

L'une et l'autre (tenues le sommet en bas, comme le cône, *fig.* 93) m'ont donné des tracés très réguliers, et qui sont, en effet, très

(1) Pour la partie de la coquille qui nous intéresse.

Digitized by Google

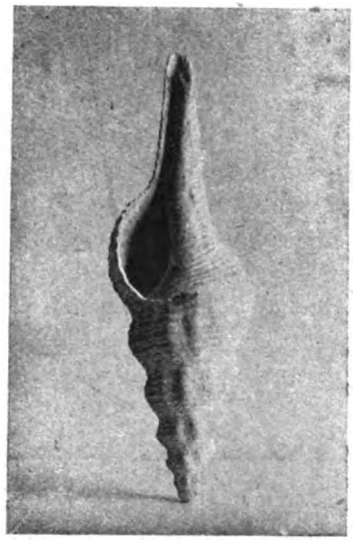


Fig. 95. — Coquille de *Fusus longicauda*.

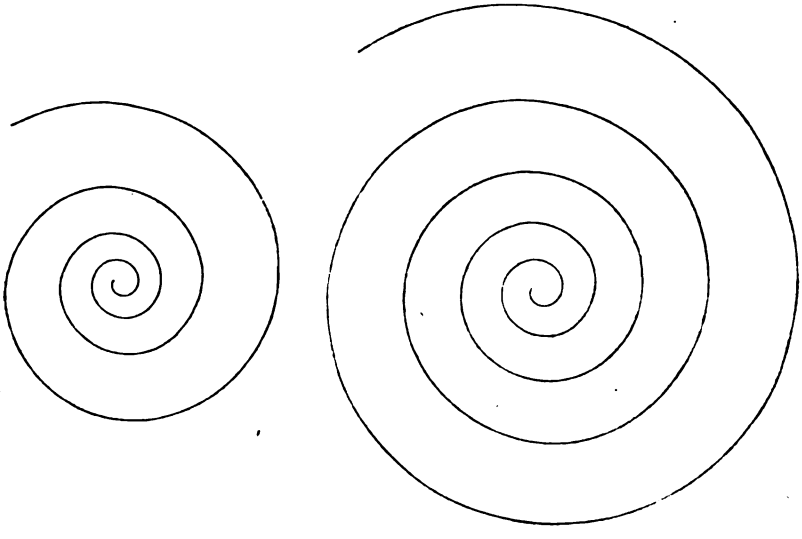


Fig. 96. — Développantes planes des hélices-spirales, lignes de suture respectives de *Pyrula pugilina* (à gauche) et de *Fusus longicauda* (à droite) (spirales logarithmiques).

Digitized by Google

sensiblement, deux spirales logarithmiques (*fig.* 96). Le théorème énoncé est donc vérifié.

Remarques.

Il est même assez curieux de constater que ces deux spirales sont de module assez voisin, malgré la grande différence de l'angle au sommet des deux coquilles, et du « pas » de leurs spires. Il serait, à coup sûr, intéressant de recommencer l'expérience avec un grand nombre de coquilles.

Trois autres remarques se présentent :

I. L'exécution du tracé est la vérification expérimentale d'un théorème de géométrie, en partant de la prémisse que les lignes de suture envisagées étaient des hélices-spirales. Supposons que nous ne sachions rien sur la nature de ces lignes de suture. Comme la réciproque du théorème en question est vraie, l'expérience faite tendrait alors à démontrer (1) que les lignes de suture sont des hélices-spirales et que les coquilles correspondantes sont des surfaces-spirales, résultat annoncé plus haut (p. 66).

C'est là, parmi combien d'autres, un bel exemple du concours, pas assez sollicité, apporté par les Sciences exactes à la Biologie.

II. Ce n'est pas tout. Cette expérience se trouve être, *ipso facto*, la vérification d'un autre théorème, lié d'ailleurs au premier, et ainsi conçu :

« *La développée (ou développante) d'une spirale logarithmique est une spirale égale et de même pôle.* »

En effet, reprenons la figure 93, en remplaçant le cône, comme nous l'avons déjà fait pour les tracés (*fig.* 96), par une des coquilles précédentes, tenue pareillement, axe vertical, sommet en bas.

La qualité de la ligne de suture qui intéressera surtout le cas présent est celle d'être située sur une seconde surface : le cylindre formé par

(1) Nous disons : « *tendrait* à démontrer » et non *démontrerait*, parce qu'une vérification expérimentale n'a pas le caractère de généralité possédé par une *démonstration* mathématique.

Digitized by Google

toutes les verticales qui projettent la ligne sur le plan de base. Sur ce cylindre, la ligne est hélice stricte. Le plan de base coupe le cylindre suivant sa section droite. Les moyens expérimentaux ne manquent pas pour s'assurer que cette section droite est une spirale logarithmique. Telle est notre première donnée.

Cela posé, d'après ce qui a été dit plus haut (p. 116, 117, à propos des développées d'une courbe plane), en déroulant la ligne-hélice du cylindre actuel, on obtient non seulement une développante de l'hélice, mais aussi une développante de la section droite du cylindre. Et l'expérience donne, nous l'avons vu, une seconde spirale logarithmique, de même pôle que la précédente, et qu'on vérifiera facilement lui être égale.

Nous avons donc réalisé, sur notre plan de base, deux spirales logarithmiques, égales, de même pôle, et qui sont entre elles, par construction, dans la relation de développée à développante : ce qui vérifie le dernier théorème proposé.

III. La troisième remarque concerne les stries que l'on voit si souvent sur les coquilles surfaces-spirales.

Par *strie*, il faut entendre non seulement les sillons étroits, pareils à un trait de gravure, mais tout accident superficiel, depuis une traînée pigmentaire, simple tache de couleur, jusqu'à un pli notable, résolu ou non, en un chapelet de nodosités, d'épines, etc. : la disposition du filet médian de la strie importe, ici, plus que la modalité superficielle qui la révèle.

Les stries sont principalement de deux sortes.

On se rappelle comment en combinant, pour une courbe *génératrice* (fermée, dans le cas des coquilles), un mouvement de progression sur une *directrice* hélice-spirale, avec un mouvement de dilatation, on engendrait une surface-spirale.

Dans ce mouvement, les trajectoires des divers points de la génératrice sont autant d'hélices-spirales et dessinent une première famille de courbes. En même temps, les positions successives de la génératrice en dessinent une seconde, transversale. Transversale ne veut pas dire orthogonale. Mais en fait il y a souvent isogonalité, soit vraie, soit relative, c'est-à-dire variant lentement d'une spire à l'autre.

Ces deux systèmes de stries (cf. *fig.* 94 et 95) sont des exemples parfaits de familles de lignes tracées sur une surface.

Digitized by Google

On peut se demander leurs rapports avec les éléments caractéristiques de la surface :

Les hélices-spirales ne peuvent *jamais* être lignes de courbure. Les traces transversales de la génératrice ne le sont pas non plus, en général, mais elles *pourraient* le devenir, dans des conditions spéciales.

Les hélices-spirales ne sont pas non plus géodésiques en général, mais cependant il y en a *une* qui l'est souvent, et voici comment. L'axe de la coquille étant vertical, les verticales des différents points d'une même hélice-spirale forment, nous l'avons vu, un cylindre droit, dont la base est une spirale logarithmique. Pour une hélice-spirale quelconque, ce cylindre, supposé réalisé, coupe la surface de la coquille. Mais lorsque le profil de la coquille s'y prête, et cela arrive en de nombreux cas, il y a *une* hélice-spirale pour laquelle le cylindre est *tangent* à la surface. Sur le cylindre, la courbe est hélice, donc géodésique, et elle reste géodésique pour toute autre surface, qui serait tangente au cylindre tout le long d'elle, c'est-à-dire, ici, la coquille.

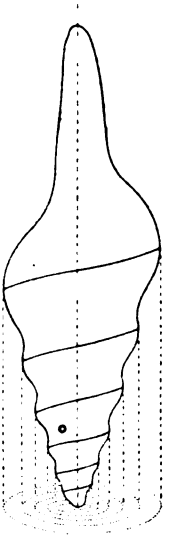


Fig. 97. — Coquille de *Fusus longicauda* et son hélice-spirale géodésique.

La figure ci-dessus explicite cette ligne pour une coquille de *Fusus longicauda* (*fig.* 97).

Digitized by Google

Notons, en passant, qu'on ferait erreur en étendant à la famille la qualité reconnue à l'*une* de ses courbes : le fait de constituer une famille est *une* qualité possédée en commun, mais il ne suffit nullement pour doter toute la famille, *ipso facto*, de telle ou telle *autre* qualité propre à l'*un* de ses membres.

Il est, d'autre part, à peine besoin d'ajouter que, pour beaucoup de coquilles, la recherche précédente est rendue difficile, ou impossible, par les protubérances qui peuvent accidenter la surface, ou encore par l'empiètement plus ou moins grand des spires les unes sur les autres, ne permettant qu'une vérification partielle, ou nulle.

Il y aurait aussi une géodésique intérieure, rapprochée de l'axe, que, par exemple, on situe aisément sur la coupe de *Fusus longicauda*, représentée figure 60, géodésique pouvant passer à l'état virtuel, si la génératrice coupe l'axe, ce à quoi rien ne s'oppose.

Enfin, les traces transversales de la génératrice ne sont pas non plus géodésiques pour une forme *quelconque* de la génératrice, mais elles peuvent fort bien le devenir, en des cas particuliers dont le nombre n'est d'ailleurs pas limité et dont les coquilles donnent des exemples : souvent les stries transversales leur sont géodésiques sinon tout entières du moins pour une grande partie de leur étendue. Ce fait est, si l'on peut dire, un coefficient individuel, lié au déterminisme morphologique du corps de l'animal sécréteur, et où jouent, sans doute, des facteurs d'extremum, déjà invoqués plus haut, et qui, à notre connaissance, n'ont pas été précisés.

32. — DIVERS RÉSEAUX PLANS ET TRANSFORMATIONS DE FIGURES.

Les stries présentées par les coquilles nous ont fait retrouver des réseaux.

Un déroulement logique nous a menés, tout naturellement, du plan aux surfaces courbes, puis aux réseaux, et aux « formes associées ».

Il y a bien d'autres familles de courbes remarquables *situées sur* une surface. Il y a beaucoup d'autres formes *associées*, courbes entre elles, courbes et surfaces, surfaces entre elles. Il y a aussi des formes définies, séparées, mais *correspondantes*, dont les transformations, entrevues au paragraphe 11 (p. 16 et seq.) ont dit un simple mot.

Digitized by Google

D'un groupe à l'autre, les rapports de situation réciproque changent de nature : coaptation parfaite, dans le premier, et liens explicites pour les yeux les moins prévenus; disposition diverse, mais toujours déterminée, dans le second, et liens perceptibles, mais moins évidents; pour le troisième groupe, distance et position d'ensemble quelconques, et liens souvent cachés.

Sur les formes des deux premiers groupes, nous ne dirons ici rien de plus, mais nous terminerons ce Chapitre par quelques indications sur des *transformations* curieuses, liées à certains *réseaux* plans.

Réseaux.

Il n'est personne qui ne sache ce qu'est une mise en place ou agrandissement « au carreau ». Un dessin étant proposé, on le couvre d'un réseau carré : par exemple, un quadrillé de $0^{cm},5$ de côté, contenu dans un carré de 10^{cm} de côté. Sur une autre feuille de papier, on construit un carré de 20^{cm} de côté, et l'on y inscrit un nombre de verticales et d'horizontales égal au précédent, soit de 1^{cm} en 1^{cm}. Les deux réseaux se correspondent maille par maille. On note alors tous les points d'intersection successifs du dessin avec les droites de son réseau, et on les reporte sur les droites du second. On joint ces derniers dans le même ordre de succession, et l'on a une mise en place du dessin proposé, agrandi deux fois.

Cette opération élémentaire est un exemple simple de transformation de figure, ou encore de ce qu'on appelle la *représentation* d'un plan sur un autre, expression abrégée qui signifie : tracer sur un plan donné les figures dessinées sur un autre plan, après leur avoir fait subir, à toutes, une même transformation.

Plus généralement, on peut étudier la *représentation d'une surface sur une autre*, les deux surfaces étant quelconques, problème dont les cartes géographiques, ou représentation d'une sphère sur un plan, est un cas particulier.

Suivant que l'attention se porte sur les figures de départ et d'aboutissement, ou sur le mécanisme qui permet de passer des premières aux dernières, on a des résultats de signification différente, mais également intéressants et proches de nous, comme la suite le montrera.

Pour le plan, les choses peuvent se décrire comme il suit :

On établit d'abord deux réseaux correspondants. Soit un réseau

Digitized by Google

carré, constitué par deux familles de droites, équidistantes et orthogonales, appelées *coordonnées* (1) rectilignes. Il y a une infinité de manières de transformer ce réseau en un autre, qui ait avec lui une relation définie. On peut faire croître ou décroître régulièrement la distance des droites de l'une des deux familles, ou des deux, et avoir des réseaux rectangulaires. On peut aussi, au lieu de droites perpendiculaires, prendre des obliques; et au lieu d'éléments parallèles, les supposer tous issus d'un même point. Enfin, on peut substituer, aux droites, des courbes (coordonnées curvilignes), pourvu que ces dernières procèdent régulièrement les unes des autres, en formant une famille : cercles, ellipses, cercles et ellipses, ellipses et hyperboles, etc. Tout ceci étant, bien entendu, soumis à la condition que l'on note avec soin la correspondance, maille par maille, des deux réseaux. Dès lors, si une figure est dessinée dans l'un d'eux, un simple report, une mise au carreau, donnera, dans l'autre, sa transformée.

On peut aussi résoudre le problème inverse : étant donnés deux dessins et le réseau de l'un d'eux, construire le réseau de l'autre.

Exemples.

I. Après l'agrandissement (et son inverse, la réduction), la transformation la plus simple consiste en un *changement d'échelle*, c'est-à-dire changement, dans le réseau initial, de l'équidistance de l'une des deux familles de coordonnées. Par ce seul moyen, un diagramme peut déjà subir de grandes modifications, peut voir disparaître et réapparaître telle ou telle de ses particularités, de sorte que l'*échelle* sera toujours comme un coefficient attaché à son interprétation éventuelle.

Par exemple, les services des voies ferrées ont besoin de graphiques représentant toutes les rampes d'un parcours donné. La figure plane, topographique, du parcours, est d'abord ramenée à une droite, les distances de station à station étant mises bout à bout, sur un même axe, et réduites à 2^{mm} environ pour 1^{km} (2.10^{-6}). Sur cette droite, il n'y a plus qu'à porter les cotes d'altitude; mais si on les laissait à la même échelle 2.10^{-6}, les cotes seraient imperceptibles, même pour un terrain moyennement accidenté. Alors on

(1) Du latin : mettre en ordre avec.

Digitized by Google

leur donne une échelle tout autre, beaucoup plus grande, et... l'on est très surpris de voir de menues collines se muer en une chaîne escarpée. Témoin ce graphique (*fig.* 98) emprunté au réseau d'Orléans, et qui va de Villeneuve-Saint-Georges à Juvisy.

Fig. 98. — Diagramme (changé d'échelle) du profil du terrain de Villeneuve-Saint-Georges à Juvisy.

Le changement d'échelle est la plus simple des transformations résultant d'une graduation particulière des coordonnées. Et ces transformations elles-mêmes sont en relation étroite avec un phénomène connu en géométrie et en physique sous le nom d'*anamorphose* (1). Sans préciser plus avant cette notion (les exemples y pourvoient), il suffit d'indiquer que d'une figure donnée on peut déduire une multiple infinité de transformées.

Les exemples suivants vont en se différenciant peu à peu. Ils sont empruntés au dernier Chapitre du Livre de M. d'Arcy W. Thompson, qui a eu l'idée féconde d'appliquer les anamorphoses à l'étude des formes animales (*fig.* 99 à 104).

---

(1) Dans les mots composés, la racine *ana* indique une action allant d'un élément donné vers un autre élément donné.

Le verbe grec *anamorphoô* est donc l'équivalent exact de *transformer*. Mais le terme d'*anamorphose* désigne, par convention, des transformations d'un caractère particulier, tandis que le terme de *transformation* ne suppose aucune restriction.

On prendra garde de ne pas confondre la racine *ana* avec l'*a* privatif et l'*n* euphonique mis, éventuellement, devant un mot commençant par *a*, comme *anaérobie*, par exemple : qui vit sans avoir besoin d'air.

Digitized by Google

II. On sait que les os métacarpiens des pieds thoraciques des Ruminants sont soudés en un os unique, le « canon ». Le diagramme A (*fig.* 99) est la silhouette d'un canon de *bœuf*, en réseau carré. Si

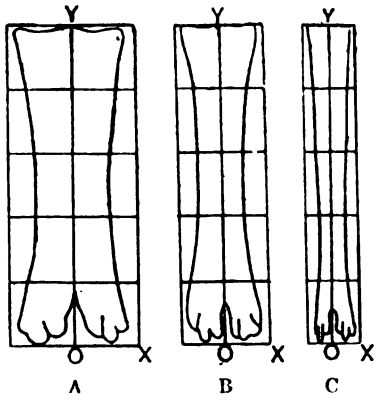


Fig. 99. — Canons de bœuf, de mouton et de girafe (d'A. W. Th.).

l'on prend sa transformée avec une nouvelle échelle horizontale, égale aux deux tiers de la précédente, on trouve un diagramme B, qui est une fort bonne approximation du canon d'un *mouton*. Et, de même, avec une réduction de largeur au tiers [1], on a le canon de la *girafe*.

III. Dans le pied du *tapir*, il y a, tout à la fois, ressemblance et

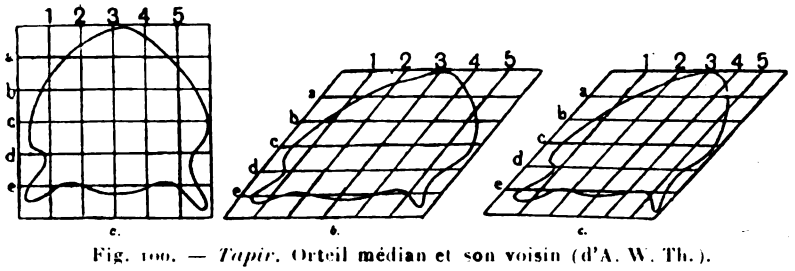


Fig. 100. — *Tapir*. Orteil médian et son voisin (d'A. W. Th.).

différence évidentes entre l'orteil médian et l'un ou l'autre de ses

(1) Les figures 99 ne sont pas des épures parfaites, mais il serait aisé de les rendre telles, et cela n'infirme pas l'affirmation indiquée.

Digitized by Google

voisins immédiats. En *a* (*fig.* 100), le contour de la phalange médiane est inscrit dans un réseau carré. Puis, tel un système articulé, on rend ce réseau oblique, à 50°. La phalange transformée, *b*, est déjà proche de son modèle naturel, mais de forme plus ramassée que lui. Alors, sans toucher aux horizontales du réseau, on fait décroître les distances des obliques suivant un certain rapport logarithmique, et l'on obtient la nouvelle transformée *c*, qui, cette fois, ne diffère plus en rien d'essentiel du contour de la phalange latérale voisine.

IV. La variation à donner aux familles de droites d'un réseau initial est loin d'être toujours aussi simple que les précédentes. La

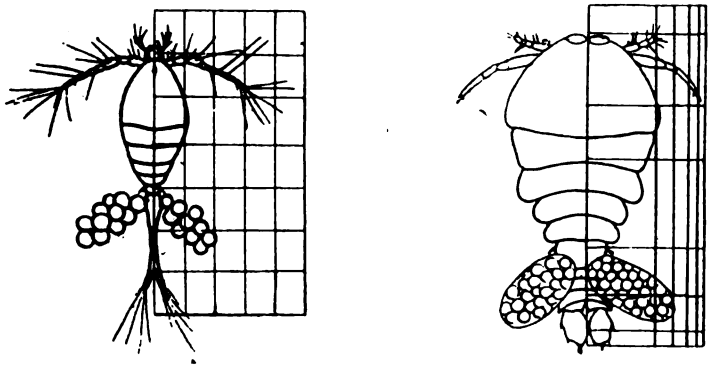


Fig. 101. — Deux Copépodes (*Oithona* et *Sapphirina*) (d'A. W. Th.)

correspondance entre les *Copépodes Oithona* et *Sapphirina* se traduit par un réseau rectangulaire, de proportions $\frac{3}{5}$ pour l'*Oithona*, mais beaucoup plus compliqué pour la *Sapphirina* (*fig.* 101).

V. Les *crabes* font apparaître des réseaux courbes (*fig.* 102). La silhouette d'un *Geryon* est inscrite dans un réseau carré (1). Un réseau rectangle donne un *Corystes* (2). Un réseau composé d'une famille de droites convergentes, l'autre étant resté famille de droites parallèles, correspond au *Lupa* (5). Pour le *Paralomis*, on trouve un réseau courbe et orthogonal (4). Des réseaux de même espèce que ce dernier,

Digitized by Google

mais en disposition inverse, conduisent aux silhouettes du *Scyramathia* (3) et du *Chorinus* (6).

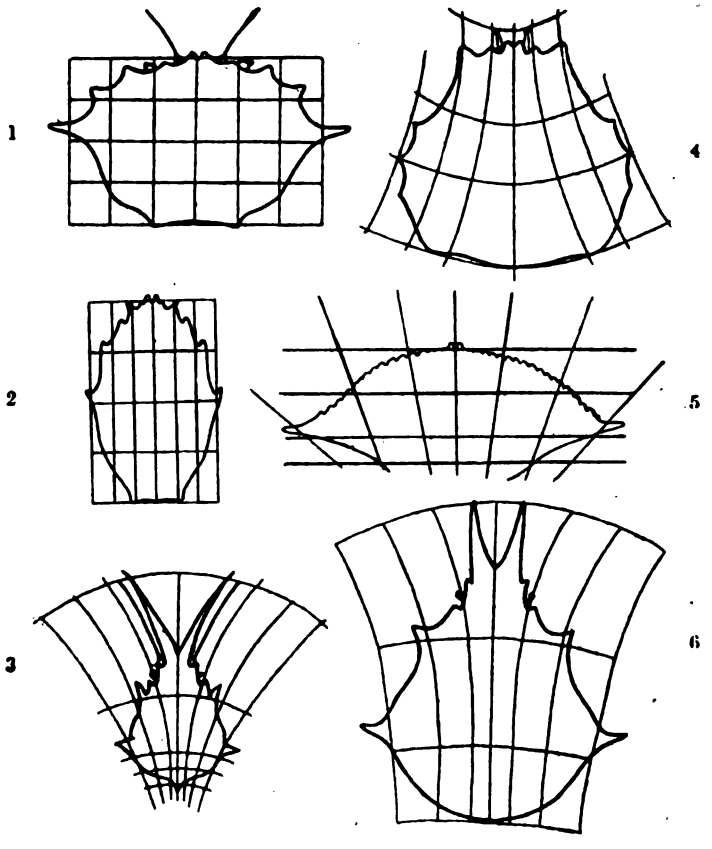


Fig. 102. — Carapaces de divers *crabes* (d'A. W. Th.).

VI. D'autres réseaux, non reproduits ici, prennent naissance en examinant les poissons. On passe du *Scarus* au *Pomacanthus* par un réseau de cercles coaxiaux approchés, avec cette circonstance intéressante que les bandes colorées, très nettes, visibles sur le corps de ce dernier, correspondent précisément aux courbes du nouveau réseau. Du *Diodon* surgit l'*Orthagoriscus* par un réseau de courbes voisines de cercles et d'hyperboles. Etc.

Digitized by Google

VII. L'examen d'individus étroitement apparentés donne lieu à une remarque fort importante.

On pourrait penser que la comparaison morphologique d'individus de même espèce, ou d'espèces voisines, doit donner des réseaux de même espèce aussi.

Il n'en est rien. La figure 103 rapproche trois épaules : de *Caucasien*, de *Nègre* et d'*Indien* des monts du Kentucky : le réseau de la première est carré ; celui de la seconde est courbe pour l'une et l'autre des deux familles de coordonnées ; et les familles du réseau de la troisième ont chacune un point de convergence et se coupent sans aucune isogonalité.

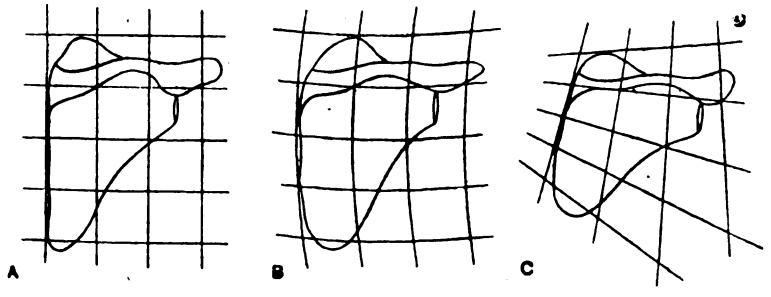


Fig. 103. — Trois épaules (Caucasien, Nègre, Indien du Kentucky) (d'A. W. Th.).

VII. Les divergences s'accentuent grandement si l'on compare les trois crânes : d'*homme*, de *chimpanzé* et de *babouin* (*fig.* 104). Une loi définie permet de passer du réseau carré, adjoint au crâne humain, au réseau curviligne convenant au chimpanzé ou au babouin. Et dans les deux derniers réseaux, les aires des quadrilatères curvilignes suivent une loi logarithmique approchée, mettant en évidence un processus continu de transformation.

A ce propos, d'Arcy W. Thompson fait la remarque suivante :

Pour comparer les crânes, les anthropologistes ont l'habitude de n'employer qu'un nombre très restreint d'axes de référence, et parfois même deux seulement : les deux côtés de l'angle facial. En agissant de la sorte, on se trouve réduire un réseau à deux droites seulement, et se désintéresser, *ipso facto*, de tout ce que peut révéler le reste du réseau. C'est déjà fâcheux.

Mais il y a plus grave. Les anthropologistes se servent constamment de la droite, ou axe facial, pour comparer entre eux des crânes

Digitized by Google

humains, ou un crâne humain avec un crâne de gorille. Or, il est exceptionnel que deux réseaux correspondants (le terme précis est : *homologues*) soient rectilignes tous deux. Ceci n'arrive que dans le cas des transformations les plus simples et les plus proches.

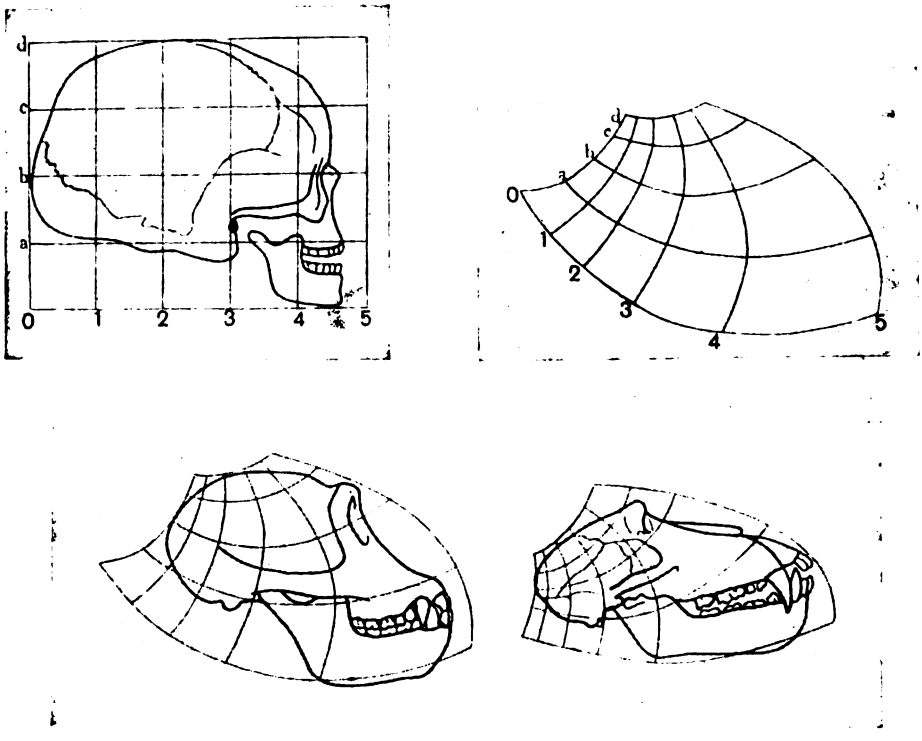


Fig. 104. — Trois crânes (Homme, Chimpanzé, Babouin) (d'A. W. Th.).

En général, si l'un des réseaux est rectiligne, l'autre est entièrement curviligne. Ainsi, on chercherait en vain, dans un crâne d'anthropoïde, une droite, homologue à une droite de référence d'un crâne humain. Les anthropologistes comparent donc entre eux des éléments qui ne sont pas homologues : *là*, leur méthode est non seulement trop sommaire, mais même viciée à l'origine.

VIII. En raison des liens établis entre les formes et leurs réseaux, la comparaison entre des types animaux, de parenté ou de filiation

Digitized by Google

certaine, est instructive à un double point de vue. D'une part, elle renseigne sur l'allure des modifications des lignes-coordonnées entre des réseaux parents ou dérivés, et d'autre part elle montre comment changent, dans les morphologies animales, les éléments homologues et les conséquences intéressantes qu'on en peut tirer.

Un fort bon exemple en est donné par le groupe des *Ongulés*, qui comprend le *Rhinocéros*, le *Tapir* et le *Cheval*.

De l'ancêtre (1) du rhinocéros d'aujourd'hui, on va d'abord, sans grande difficulté, au tapir.

Si ensuite, à partir du même ancêtre, on descend, d'un côté, au cheval, et de l'autre aux rhinocéros actuels, on voit que les réseaux ont subi des déformations inverses, soit que, dans l'une ou dans les deux familles de coordonnées du réseau initial, les distances mutuelles et successives des lignes aient varié d'une manière toute différente; soit que les parties courbes et homologues de ces lignes aient pris, dans les deux descendances, des courbures de sens opposé. De sorte que, beaucoup mieux que par l'inspection seule des crânes, on a une idée de l'ensemble du mécanisme qui a fait diverger les deux lignées, et de l'allure de leur divergence.

Mais la surprise devient plus grande encore lorsqu'on aperçoit que l'on peut passer, par une transformation analogue, et même plus simple, du crâne initial à celui de notre *lapin* : illustration combien nette des liens indubitables qui unissent les *Rongeurs*, et spécialement la famille des *Léporides*, aux *Ongulés primitifs*. Et comme la transformation qui mène des uns aux autres est très simple, on est conduit à se demander si le Rhinocéros primitif n'est pas moins étroitement lié aux Ongulés actuels qu'aux Léporides, et même si ceux-ci ne sont pas plus directement liés à lui qu'aux autres Rongeurs.

Il faut, bien entendu, traiter à part l'agrandissement de l'œil du lapin, la forme et le nombre de ses dents, qui constituent une modification adventice séparée, n'infirmant en rien le caractère de la comparaison d'ensemble.

33. — INTERPOLATION GRAPHIQUE ET RÉSEAUX INTERPOLÉS.

Une objection se présente à l'esprit, lorsqu'on entend parler de

(1) Trouvé dans le terrain éocène moyen de l'Amérique du Nord.

Digitized by Google

l'allure d'une transformation. En effet, les diagrammes présentés sont relatifs à un aspect plan, et pour être complet, il faudrait avoir trois diagrammes orthogonaux, donnant une résultante stéréogramme (1). Mais les deux autres diagrammes, s'obtenant de la même manière que le premier, n'introduisent, dans notre sujet, aucune notion nouvelle, et il suffit de signaler le fait.

Une autre objection se présente, et qui est plus sérieuse.

Il est assez aisé de se rendre compte de la physionomie d'une transformation, lorsqu'elle obéit à une loi simple et que les limites de son champ ne sont pas trop distantes. Tels sont les cas du pied des ruminants ou du tapir. Avec les Copépodes et avec les Crabes, c'était déjà moins aisé. Mais la difficulté augmente vite lorsque les coordonnées correspondant aux droites du réseau initial sont sinueuses, et lorsque l'on franchit un intervalle aussi grand que celui séparant une espèce fossile d'une espèce contemporaine à nous.

Dans ces cas-là, il serait fort précieux, et souvent même nécessaire, de connaître quelques-uns des stades intermédiaires de la transformation. Et s'ils ne sont pas connus, on peut essayer de les imaginer et de les retrouver. L'*interpolation* (2) permet cette tentative audacieuse.

Un exemple familier en fait comprendre le principe. Tout le monde a pu voir, dans les gazettes illustrées de jadis, la métamorphose de la tête de Louis-Philippe en une poire. Par une série de gradations successives, assez petites pour que chaque dessin pût sembler encore tout proche du précédent, les traits du visage s'altéraient progressivement, et devenaient l'image d'un fruit : entre le visage et le fruit, l'artiste avait *interpolé* six ou sept figures intermédiaires (3).

Je ne jurerais pas que cette interpolation était précise, au vrai sens du terme : elle n'y prétendait point. Mais il existe une définition

---

(1) On pourrait encore imaginer des sections par des plans parallèles, et les projeter sur l'un d'eux, telles les courbes de niveau des cartes topographiques, etc.

(2) Latin : *interpolare*, intercaler.

(3) On aperçoit les liens de l'interpolation avec la reconstitution et la restitution des ruines.

L'interpolation prolongée *au delà* de l'un ou des deux éléments extrêmes prend le nom d'*extrapolation*. Mais l'extrapolation est souvent incertaine, et, partant, beaucoup plus risquée que l'interpolation.

Digitized by Google

rigoureuse de l'opération vraie; on sait comment la conduire efficacement, et quelles conclusions il est légitime d'en formuler.

Un autre exemple simple en donnera une idée, exemple d'interpolation rigoureuse, rencontré dans une question du même genre que celle envisagée maintenant. L'écart entre les courbes 17 et 18 (§ 10, p. 19) était trop grand pour qu'il fût aisé de voir comment la seconde dérivait de la première. Alors nous avons interpolé, de l'une à l'autre, plusieurs autres courbes. Deux groupes de deux sont reproduits figure 19, et rendaient immédiatement intelligible la relation entre 17 et 18. Dans ce cas-là, nous connaissions la relation, et l'interpolation se bornait à construire des courbes, à partir de la courbe initiale, par la même transformation, mais en opérant dans un intervalle plus réduit que celui allant de 17 à 18. Une seule et même loi définie permettait donc de passer d'une courbe à l'autre, y compris la première et dernière courbe : telle est une interpolation dans son principe.

Cependant, il eût pu arriver que nous sachions que 18 dérivait de 17, mais en ignorant comment. Or, même dans ce cas, il existe un procédé général de recherche, soit analytique, soit géométrique, permettant d'interpoler, entre deux éléments donnés, un certain nombre d'éléments nouveaux, de manière à former une suite d'éléments, liés par une loi commune, définie.

L'interpolation *graphique*, seule, concerne notre sujet. Ce que nous savons des réseaux interpolés et de leur application aux questions de Morphologie animale est dû à un savant danois éminent, M. Gerhard Heilmann. Son ami, d'Arcy W. Thompson, lui ayant soumis le profil des bassins (ilion, ischion, pubis) de deux oiseaux fossiles, l'*Archæopteryx* et l'*Apatornis* (l'ancêtre, et un de ses descendants), G. Heilmann les lui rendit avec trois profils interpolés, montrant un « passage » régulier du premier au dernier.

Mais ce résultat gardait un intérêt théorique, car on ne connaît pas, pour le moment, de fossiles correspondant aux trois types intermédiaires.

Alors, M. G. Heilmann choisit le cheval actuel, parce qu'on lui connaît un assez grand nombre d'ascendants fossiles, jalonnant la route entre lui et l'*Eohippus* (ou *Hyracotherium*), le plus ancien de tous.

En conservant soigneusement les dimensions relatives (car

Digitized by Google

l'*Eohippus* était très petit), un crâne d'*Eohippus* fut mis dans un réseau carré, A; et un crâne de cheval dans le réseau correspondant H (*fig.* 105).

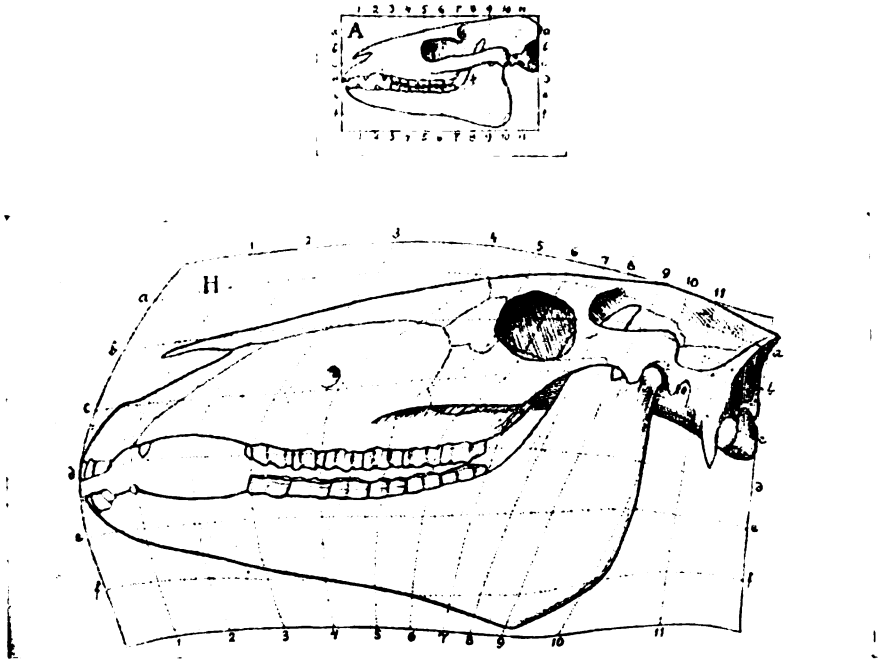


Fig. 105. — Crânes de *Eohippus* et de *Cheval* actuel, mis en réseau (G. Heilmann).

Les deux réseaux A et H, réduits à leur contour quadrilatère, furent disposés comme le montre la figure suivante, et six quadrilatères, B, C, D, E, F, G, furent interpolés (*fig.* 106).

Chaque quadrilatère est ensuite dessiné à part, son réseau propre est construit, et, dans ce réseau, inscrit le crâne correspondant : six crânes se trouvaient maintenant interpolés entre ceux de l'*Eohippus* et du cheval. Le résultat de la confrontation avec les autres crânes fossiles connus (*fig.* 107 et 108) fut tout à fait impressionnant.

Le voici :

A est l'*Eohippus*.

Le crâne B n'a pas de correspondant fossile connu.

Digitized by Google

Au crâne C correspondent deux *Mesohippus*, dont l'un, M, est particulièrement proche de C.

Le fossile suivant, *Parahippus*, correspond moins bien à D. On est fondé à en conclure qu'il appartient à une lignée divergente de celle qui mène de A à H.

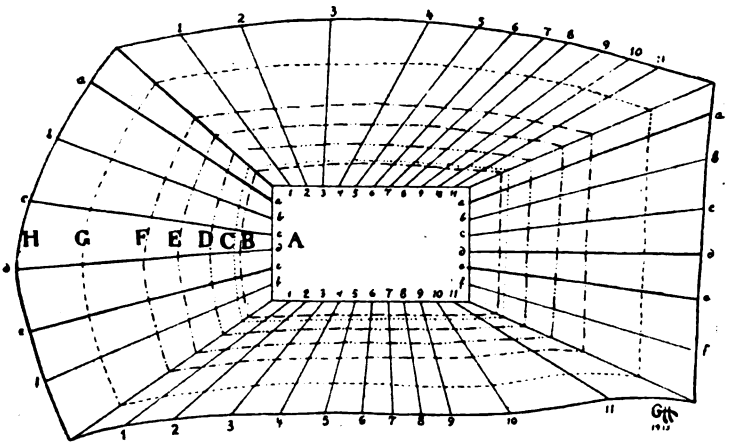


Fig. 106. — Interpolation de six réseaux entre les deux précédents (G. Heilmann).

Au stade suivant E, correspond, d'une manière bien nette, le crâne du *Protohippus*. Il y a cependant un léger écart entre les maxillaires inférieurs.

Mais le maxillaire inférieur d'une espèce voisine, le *Protohippus placidus*, est tout près de celui de F.

G n'a pas de correspondant connu.

Et H est le *cheval*.

L'accord entre les stades respectifs de l'interpolation graphique et de l'évolution zoologique est saisissant.

La planche précédente se trouve, avec d'autres aussi remarquables, dans un Ouvrage de Morphologie comparée, des plus attachants, consacré par M. Gerhard Heilmann aux données récentes sur l'évolution des *Oiseaux* (1).

(1) Gerhard Heilmann, *Vor Nuværende Viden om Fuglenes Afstermning* (København. *Særtryk af Dansk Ornithologisk Forenings Tiddskrift*, 1916).

Digitized by Google

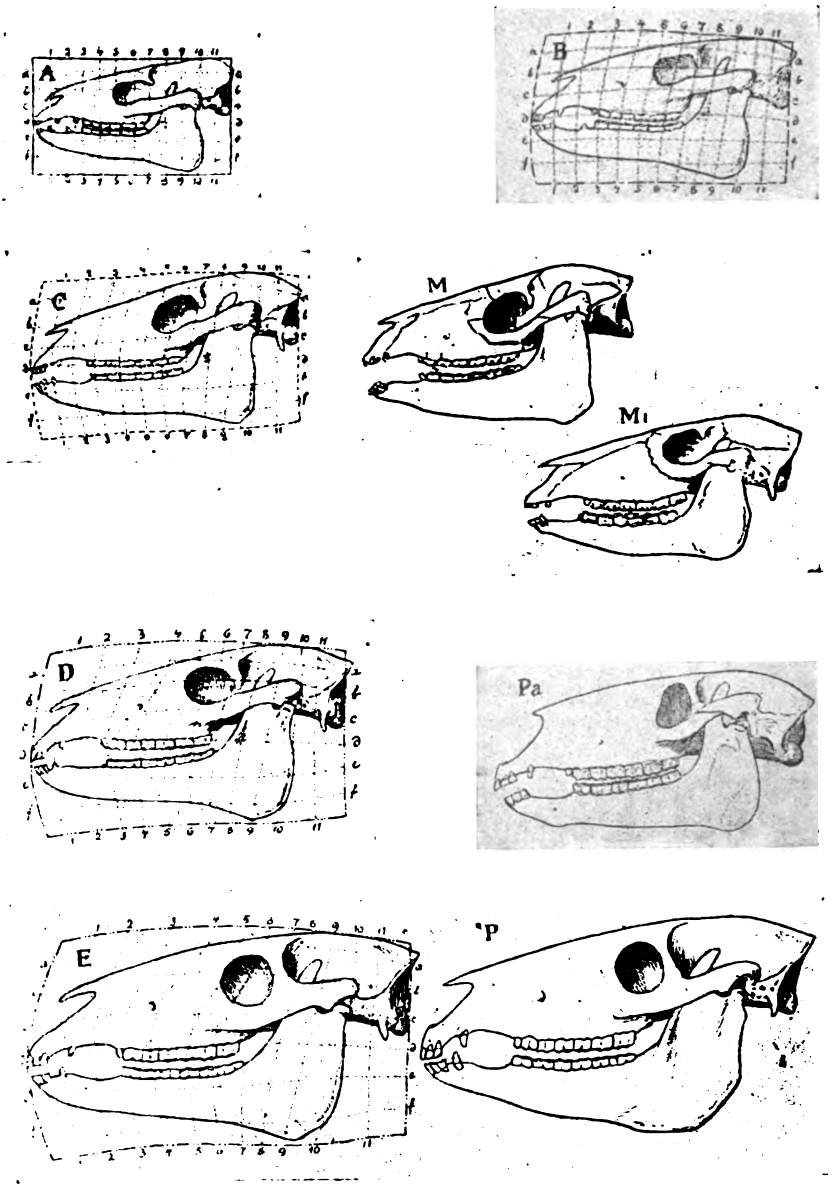
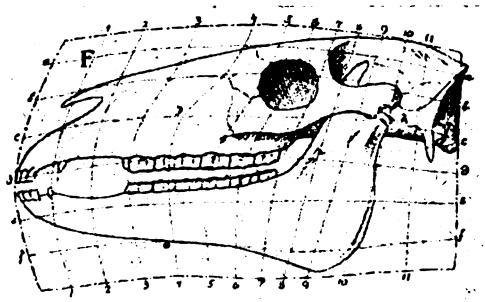
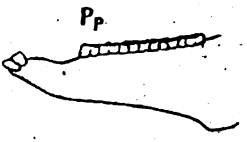
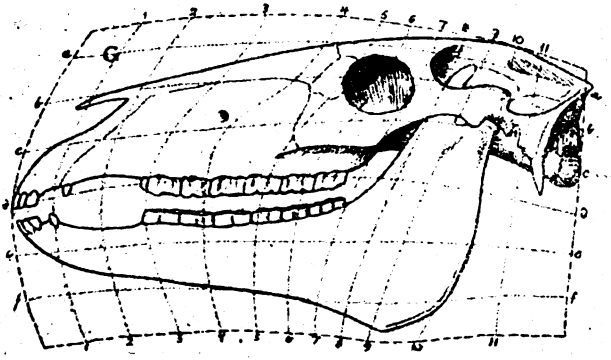


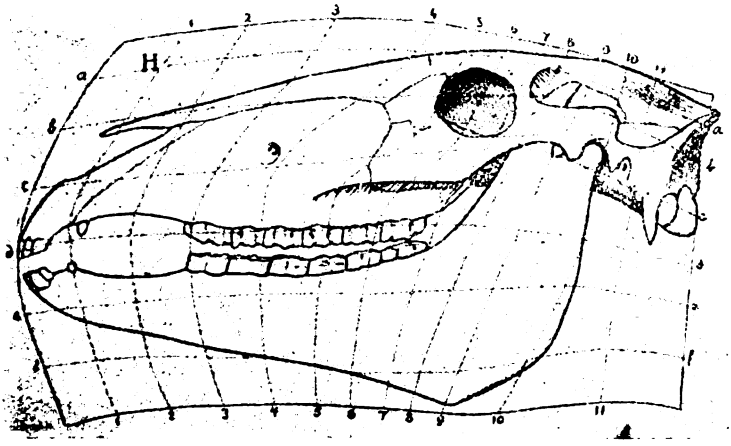
Fig. 107 et 108. — Interpolation de l'*Eohippus* au *Cheval* actuel (G. Heilmann).

Digitized by Google









Digitized by Google

On sait que ceux-ci descendent des Reptiles. Mais il est important

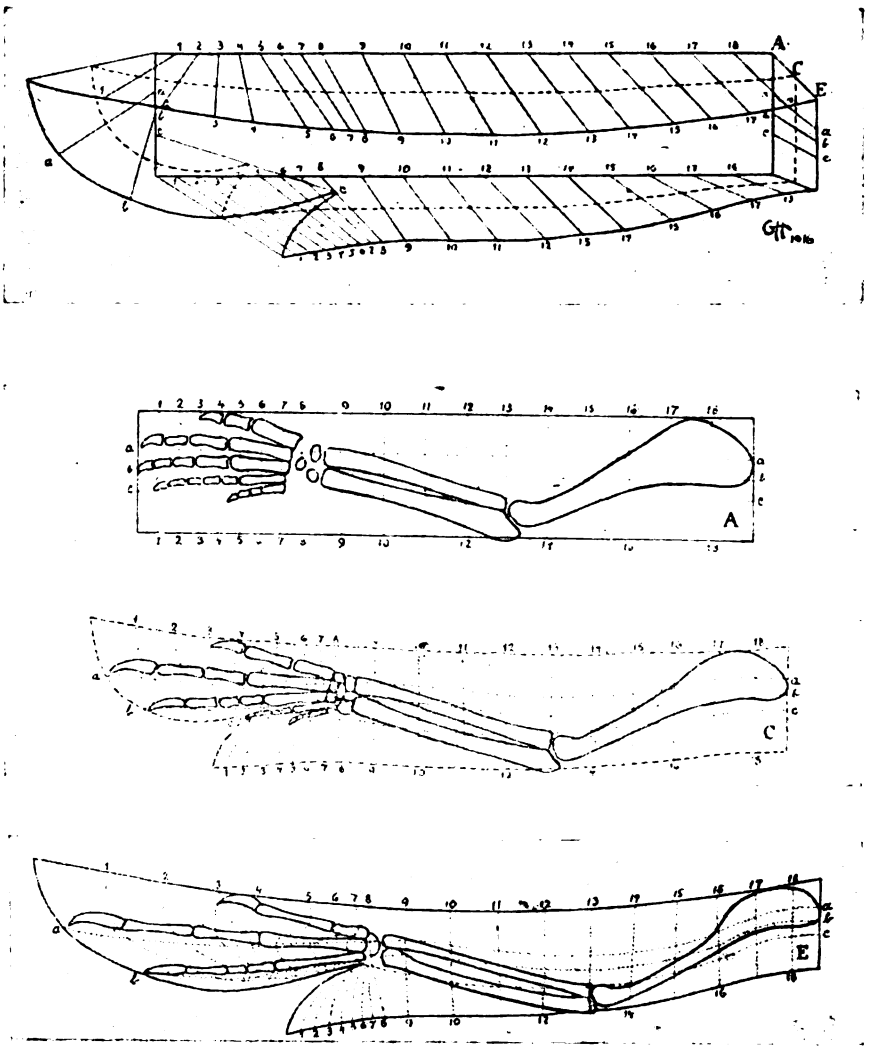


Fig. 109. — Interpolation de l'*Ornithosucus* à l'*Archæopteryx*, par le *Proavis* (membre antérieur) (G. Heilmann).

d'expliciter l'enchaînement précis. Après une étude longue et profonde, l'auteur montre comment le « passage » du reptile *Ornitho-*

Digitized by Google

sucus au plus ancien des oiseaux connus, l'*Archæopteryx*, se fait par le *Proavis*, reptile préoiseau, qui se place exactement entre l'un et l'autre. Voici, en particulier, l'épure d'interpolation pour le membre antérieur (*fig.* 109).

M. G. Heilmann a cherché s'il était possible de remonter du crâne humain à un crâne préhumain, du type anthropoïde, par une série régulière, qui eût, comme celle du cheval, rencontré, chemin faisant, des types connus. Mais il a paru impossible d'obtenir une telle série, ou de passer, en gradation successive et liée, par des formes comme celles du *Mésopithèque*, du *Pithécanthrope*, de l'*Homme du Néanderthal*, et par les races inférieures ou supérieures de l'homme actuel.

M. d'Arcy W. Thompson fait observer que ceci n'infirme ni l'excellence de la méthode de recherche, ni le fait de la parenté commune. Ceci indique simplement que l'on n'est pas en présence d'une ligne de descendance unique, mais de lignées divergentes, comme des branches à partir d'un tronc.

L'exemple du chimpanzé et du babouin illustre cette affirmation. Il est aisé de trouver une transformation qui conduise de l'homme au chimpanzé, puis de l'homme au babouin, et de voir que le chimpanzé est plus près de l'homme que le babouin. Mais le chimpanzé n'interpole pas rigoureusement la ligne ou trajectoire « homme-babouin » et pour cause : on sait bien que s'il y a ancêtre commun, il n'y a pas filiation directe. Tel est le cas précédent.

34. — REMARQUES.

L'application de certaines transformations définies à l'étude des formes animales, et le précieux concours de l'interpolation graphique offrent un intérêt de premier ordre.

On les retrouvera plus loin, et ailleurs. Mais on peut, en attendant, indiquer quelques remarques qui se présentent d'elles-mêmes à l'esprit.

I. Supposons qu'au cours d'un phénomène morphologique [1]

[1] Nous ne nous occupons ici que de ceux-là. Mais on pourrait, avec des précautions et une adaptation convenables, étendre ces considérations à d'autres domaines.

Digitized by Google

on puisse interpoler dans des intervalles de plus en plus rapprochés. A la notion première d'une transformation unique, de champ étendu, se substitue celle de plusieurs transformations successives, de champ restreint. Puis, les intervalles décroissant encore, et leur nombre augmentant, on trouve, à la limite, la transformation infiniment petite (1), instantanée et, par là même, continue.

Or, pour une morphologie, une transformation continue n'est autre chose qu'un phénomène de *croissance* ou d'*évolution.*

On aperçoit peut-être où nous voulons en venir, mais un détail encore le rendra tout à fait clair.

Dans la figure de départ, choisissons un point quelconque, et suivons-le tout le long de la transformation continue : le point choisi décrit une ligne continue, une *trajectoire.* Dans le cas général, chaque point de la figure qui évolue décrit ainsi une trajectoire, et elle-même est donc un *milieu en mouvement.*

Par là, nous réalisons, au propre comme au figuré, qu'un *être vivant* (qui croît et évolue) est un *milieu en mouvement.* On est donc justifié d'aborder l'étude de l'être vivant à l'aide des méthodes employées par les Sciences exactes à l'égard des milieux en mouvement.

Notion importante, extrêmement : d'elle naissent, pour la Morphologie des vivants, les meilleurs espoirs d'*explication.*

Nous en avions déjà rencontré des exemples, sans y appeler l'attention, parce que nous y revenons au Chapitre IV. Mais il importe de montrer que la proposition est vraie en toute rigueur, et non du tout comme une approximation, et moins encore comme un simple rapprochement ingénieux.

II. L'exposé actuel insiste, depuis le début, sur l'importance du rôle joué par les Transformations. Mais elle est grande encore ailleurs qu'en Morphologie, car aussi nombreux que divers sont les phénomènes capables d'être représentés par un diagramme, et celui-ci met en évidence des éléments qu'on n'eût peut-être pas trouvés sans lui (2).

---

(1) On dit aussi : *différentielle.*

(2) Sans préjudice de bien d'autres domaines encore, indépendants des questions de diagramme.

Digitized by Google

Il est toute une catégorie de diagrammes particulièrement explicites à cet égard : les dessins d'artiste. Nous donnons au Chapitre VII le détail d'une observation qui les concerne, fort nette et d'autant plus valable qu'à aucun moment les auteurs ne soupçonnaient ce que révéleraient, des années plus tard, leurs dessins. Nous en reproduisons la conclusion générale, qui nous permettra une remarque intéressante :

« En regardant, tous les yeux normaux *déforment*. L'*amplitude* de la déformation varie avec chacun d'eux, et constitue, pour l'individu, un *coefficient personnel*, particulier à lui et à lui seul.

» Ce coefficient individuel de déformation est grand pour les artistes, faible pour les non-artistes. D'un artiste à l'autre, il peut déjà varier beaucoup.

» A cette déformation visuelle primaire, normale, se surajoutent diversement des déformations *émotives*.

» D'autres modifications peuvent survenir, dues à l'intervention d'un facteur *mental*.

» Ces trois facteurs, physiologique ordinaire, émotif, mental, retentissent l'un sur l'autre.

» De plus, ce qui précède concerne un état d'euphorie moyen. Tout état d'excitation ou de dépression y a sa répercussion immédiate. »

Ces déformations se laissent assez facilement analyser. Elles sont en relation étroite avec le phénomène de l'anamorphose.

La sensibilité visuelle change donc tout le temps de « réseau ». Elle est en perpétuel changement. Mais ceci n'est nullement exclusif à elle, et l'on peut en dire autant de toutes nos autres sensibilités.

Ainsi, vis-à-vis des impressions du dehors, notre Sensibilité est un facteur d'incessante transformation : telle, une surface mouvante, qui déforme sans trève les rayons projetés sur elle.

Sans anticiper aucunement sur les conséquences qu'on en tirera plus loin, nous attirerons l'attention sur le point suivant.

Gardons un instant l'image précédente.

Devant un ensemble de reflets mobiles, la première idée est d'examiner si, en cherchant *parmi eux*, on pourra découvrir des repères utiles, des éléments invariables, des *invariants*, qui en permettront l'étude.

Digitized by Google

Mais une seconde idée incline à penser qu'il est vain d'espérer trouver un invariant quelconque *dans* un changement incessant, et qu'il vaut mieux les chercher *en dehors* de lui.

Ces deux idées ne sont pas opposées. Si leur point de départ diffère, leur but est le même. Et chacune d'elles examine, de l'ensemble des choses, la moitié négligée par l'autre, et réserve la synthèse complète à l'union de leurs efforts.

Or, en revenant maintenant au monde mouvant de toutes les données de la Sensibilité, il semble bien que les deux idées précédentes correspondent aux deux grandes manières de voir, l'une de l'Occident, et l'autre de l'Orient, à l'égard du Problème de la Connaissance.

La première conduit à la mensuration du concret, à la discipline des Sciences exactes, aux belles conquêtes de la Raison et de l'Intellectualisme pur.

La seconde a développé à l'extrême le domaine de l'affectivité et de l'intuition, et leur a donné une force et une pénétration admirables.

Sans doute est-il beaucoup d'autres manières de présenter cette remarque. Mais les tendances de l'Orient sont souvent mal interprétées chez nous. Certains sont déconcertés, exemple entre mille autres, que, d'après les Sages de l'Inde, la réalité ne saurait, en aucun cas, être saisie *dans* le concret et qu'il faut, comme il vient d'être dit, la chercher *en dehors* de lui : l'accord naît dès qu'on a saisi la correspondance entre les deux langages de là-bas et d'ici.

Sans doute aussi pourrait-on faire une critique, plus ou moins poussée, des avantages et des inconvénients respectifs de chacune des deux manières de penser et de sentir. Mais nous avons simplement pensé utile de montrer en passant, à la faveur d'une image, devenue précise par tout ce qui précédait, que les deux grands Systèmes de l'Orient et de l'Occident sont d'autant plus compatibles qu'ils sont *complémentaires* (1).

(1) Ici, simplement : se complètent. En Mathématique et en Physique, ce terme indique une constance dans le résultat d'une opération effectuée sur deux quantités. L'acception de ce terme étant un peu élastique, son sens doit être spécifié chaque fois qu'on l'emploie.

Digitized by Google

III. Nous disions au début que « la Géométrie » dépassait singulièrement la géométrie élémentaire.

Et en effet, même dans un exposé aussi rapide que celui-ci, il a déjà dû être parlé de géométrie projective, de géométrie infinitésimale, d'*Analysis situs*, etc., et les phénomènes morphologiques discontinus, soudures ou résorptions, n'ont cependant pas même été touchés.

En abordant l'Esthétique, on verra comment, à côté de certaines simplifications, les problèmes connaissent une complication plus grande encore.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

FORME ET FONCTIONNEMENT.

35. — FORME ET FONCTION.

En quittant les formes définies, et avant d'en aborder d'autres, il est une ou deux remarques, dont plus tard nous aurons besoin, et qui se placent ici tout naturellement.

On s'est aperçu, sans doute, à la lecture de ce qui précède, que nous avons glissé, insensiblement et sans l'avoir voulu, de la notion de Forme à une notion *associée*.

Lorsqu'on entend, pour la première fois, un biologiste dire, en langage abrégé, que, sous la forme d'un animal, il faut toujours voir la fonction, ou même lorsqu'il insiste, d'une manière plus précise, sur les rapports qui lient la forme du corps et son activité fonctionnelle, on est un peu désorienté par la multiplicité des images aussitôt évoquées.

Or, regardons : squelettes; mouvements de roulement; ondes liquides, trajectoires d'un corps pesant; ondes lumineuses; ondes explosives; pesanteur, vent; tension superficielle; gauchissement, dilatation ou rétraction parallèle; croissances variées; tourbillons; pressions, etc. : à chacune des formes que nous avons vues est associé, en effet, quelque chose qui fonctionne, un *fonctionnement*. Et voilà un premier point.

En voici un second. Avec la première hyperbole, celle de la lampe Pigeon, nous avons la propagation d'un rayonnement, réparti en cône. Avec la deuxième hyperbole, celle du mur de l'École des Mines, nous avons aussi un rayonnement en cône, celui de l'explosion.

Digitized by Google

Avec les chaînettes, nous avons la pesanteur, c'est-à-dire un régime de forces constantes et parallèles; et avec la voile gonflée, qui a aussi un profil de chaînette, nous avons également un régime de forces constantes et parallèles, celui du vent régulier.

Avec les spirales logarithmiques, et les surfaces spirales, nous avons un phénomène qui se renouvelle, toujours semblable à lui-même.

Etc.

D'où ce deuxième point : lorsque deux (ou plusieurs) formes sont de même espèce, il *peut* y avoir *quelque chose* de commun aux fonctionnements respectifs correspondants.

Il y a *quelque chose*, mais non pas *tout;* ou, du moins, à l'avance on n'en sait jamais rien, parce qu'il peut arriver que des formes, même identiques, correspondent à des fonctionnements très différents.

Par exemple, la trajectoire d'un projectile est, dans certaines conditions, une parabole. Mais c'est une parabole aussi qui est la figure d'équilibre des câbles d'acier retenant les ponts suspendus.

On aperçoit, d'ailleurs, tout de suite, l'erreur que l'on commettrait en voulant comparer (et en voulant induire de l'une à l'autre) deux questions, dont l'une est dynamique et l'autre statique.

Peut-être serait-on tenté de dire que le sens des paraboles eût dû nous avertir, la première ayant sa concavité tournée vers le bas, et la seconde, sa concavité tournée vers le haut ?

Mais cette circonstance ne suffit pas, car dans l'étude statique des poutres, on rencontre des paraboles à concavité tournée vers le bas, et il y a, pareillement, des problèmes dynamiques qui conduisent à des paraboles à concavité tournée vers le haut; etc.

En réalité, tout pronostic est impossible, et il est indispensable, en présence de deux fonctionnements qui ont *quelque chose* de commun, de préciser ce quelque chose, s'il existe, et d'en déterminer rigoureusement les limites.

D'après ce qui vient d'être dit, on se doute combien la simple « ressemblance » sera plus dangereuse encore.

Une figure nous est bien familière, celle que prend une cordelette qu'on fait tourner très vite : la corde à sauter, pour enfants. A un examen superficiel, on croirait pouvoir la rapprocher soit d'une parabole, soit d'une chaînette, soit du profil d'une houle, en petit.

Digitized by Google

Or, elle n'est rien de tout cela, et en la croyant telle, on serait conduit à des conséquences tout à fait erronées.

Dans un cocon de ver à soie, les fils sont disposés par bandes imbriquées, de la manière suivante (*fig.* 110) :

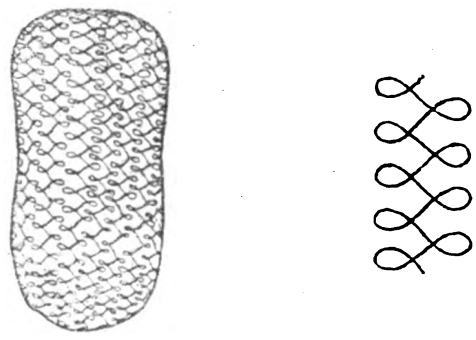


Fig. 110. — Disposition des fils dans un cocon de ver à soie, et courbe élastique.

Dans l'une quelconque de ces bandes, considérée isolément, le dessin du fil ressemble beaucoup à certain cas d'une Élastique plane, dessinée à côté. Il n'y a cependant aucun rapport entre les deux fonctionnements correspondants. L'Élastique est une figure d'équilibre; tandis que la disposition des fils de soie, sécrétés à l'état de

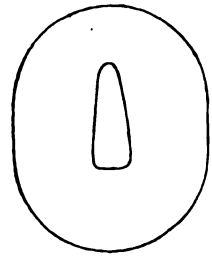


Fig. 111. — Section transversale de larve (*Trochophore*).

liquide visqueux, est due aux mouvements de la tête de la chenille, combinés au mouvement d'ensemble de son corps.

Voici, encore, la figure 111 :

Digitized by Google

Beaucoup de personnes croiront apercevoir la silhouette, bien connue, d'une *tsuba*, ou garde de sabre, japonaise. Il y en a, en effet, de toutes pareilles. Mais cette silhouette est celle, très agrandie, de la coupe transversale d'une larve *trochophore* (1), au début de la genèse de son mésoderme.

Ce dernier exemple fera presque sourire. On aurait tort : au cours d'une recherche, on peut fort bien se trouver en présence d'apparences aussi voisines, mais d'origines respectives aussi étrangères, sans être prévenu par rien. Il faut donc être fort prudent.

Toutes ces réserves faites, il est très précieux de savoir que deux fonctionnements ont des éléments communs.

Si l'un d'eux est connu, et l'autre non, on se trouve avoir, pour étudier celui-ci, un point de départ, une direction de recherche, quelque possibilité de prévision, l'espoir d'une explication; et ceci est considérable.

Pour le moment, nous retiendrons surtout que la Forme et la Fonction sont deux des aspects d'un seul et même phénomène (2).

36. — DÉFINITIONS.

Pour qu'il ne puisse rester, dans l'esprit, aucune incertitude au sujet du sens exact des phrases précédentes, nous donnerons les définitions que voici :

On nomme *volume* une portion de l'espace, limitée en tous sens; *surface*, la partie commune à deux régions contiguës d'un volume; *ligne*, la partie commune à deux régions contiguës d'une surface; et *point*, la partie commune à deux régions contiguës d'une ligne.

La *forme* d'un corps est l'ensemble des surfaces qui délimitent ce corps.

Tout ce qui est enclos par ces surfaces est le *milieu intérieur* du corps.

---

(1) *Phoronis Sabatieri* : L. Roule, *Embryologie comparée* (Paris, Reinwald, 1894).

(2) Nous ne disons pas : les deux seuls aspects; et nous rappelons la restriction formulée à propos des transformations, (§ 11, p. 18, premiers alinéas).

Digitized by Google

Pour un corps donné, le *milieu extérieur*, ou le Milieu tout court, est constitué par tout ce qui n'est pas ce corps. C'est donc tout le reste du monde, ou comme on dit souvent, du *Cosmos*, terme grec qui veut dire : Univers.

Ainsi : Milieu extérieur, milieu ambiant, le Milieu, monde extérieur, cosmos, milieu cosmique, sont, pour un individu donné, des expressions synonymes.

On appelle *conditions du milieu*, ou *conditions d'existence*, ou encore, *régimes*, les innombrables et incessantes actions exercées, sur l'individu, par le cosmos.

Que ces actions soient mécaniques, physiques, chimiques, animales, mentales, etc., elles se ramènent toujours, en dernière analyse, à des rayonnements, d'espèce et de modalité variées, ou, pour ne rien préjuger, à des *énergies* variées.

On appelle *fonctionnement*, toute manifestation ou transformation d'énergie. En Physiologie, on nomme, plus spécialement, *fonction*, certains groupes de fonctionnements.

Dire qu'un être vivant *réagit* ou *fonctionne*, revient simplement à dire qu'il reçoit des énergies du dehors, est modifié par elles, et les transforme.

D'ailleurs, ceci est vrai *absolument*, c'est-à-dire que les fonctions vitales les plus différenciées, telles que les fonctions sensorielles et mentales, ne sont, tout comme les autres fonctions, que le résultat ultime des actions du dehors.

Ainsi, la forme d'un individu est, d'une part, la limite entre son milieu intérieur et le Cosmos; mais, d'autre part, elle apparaît aussi comme la zone de contact entre son fonctionnement individuel et les énergies du dehors : entre ses énergies et celles du Milieu.

Ou encore, d'une manière générale, la *Forme* se révèle simplement, comme l'*une* des *réactions* de la *Matière* aux conditions du *Milieu*.

C'est pourquoi elle varie aussitôt et avec la Matière et avec les actions du dehors.

En d'autres termes, le Milieu, avec ses énergies, et la Matière, avec les siennes, sont deux groupes de données mutuellement aux prises, et la *Forme est le diagramme de leur rencontre*.

Tout l'intérêt de la Morphologie est là.

En Physique, tout ceci serait lieu commun. Mais en Biologie

Digitized by Google

cette vérité a été, et est encore, si souvent méconnue, qu'il n'est pas inutile de l'exprimer à nouveau.

Et nous verrons plus loin comment ces remarques élémentaires, ces embryons de préceptes, ces indications brèves, trouvent leur aboutissant complexe et délicat dans la Morphologie humaine.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

DES CRISTAUX A LA MATIÈRE VIVANTE.

37. — CRISTAUX.

On se demande peut-être pourquoi, partant des formes élémentaires pour arriver aux formes complexes, nous n'avons pas commencé par les *cristaux* : ils ont l'air si simples, avec leurs faces planes et leurs arêtes rectilignes.

Mais cette simplicité est plus apparente que réelle. Dans chaque espèce cristalline, il n'y a de définis que les éléments *angulaires*, c'est-à-dire les symétries [1], l'inclinaison mutuelle des faces, etc. Les distances n'obéissent à aucune loi spécifique : longueurs, largeurs, épaisseurs, sont quelconques, et de cette incertitude peuvent naître de grandes complications.

Ainsi, lorsqu'il neige, on peut recueillir, par certains temps, de minimes paillettes étoilées, formées par le groupement d'individus cristallins, et dont voici, entre des milliers et des milliers, quelques aspects [2] (*fig.* 112-113).

Mais si de tels arrangements sont réguliers, la paillette échappe cependant déjà à une définition précise qui la comprenne tout entière.

Et que dire d'un flocon, qui est un amas de paillettes, et que dire d'une arête de neige, en haute montagne, qui est un amas de

---

[1] L'analyse de la morphologie des arrangements réguliers est l'objet du livre de F. M. Jæger, *Le principe de symétrie*, trad. de P. Gérald et J. Chevrier (Paris, Gauthier-Villars, 1925).

[2] W. A. Bentley (Washington, *Monthley Weather Review*, May 1901, et *Annual Summary*, 1902).

Digitized by Google

flocons ? Que dire d'un bloc de granit, qui est un agrégat de grains cristallins, et que dire du Massif du mont Blanc, qui est un amas de

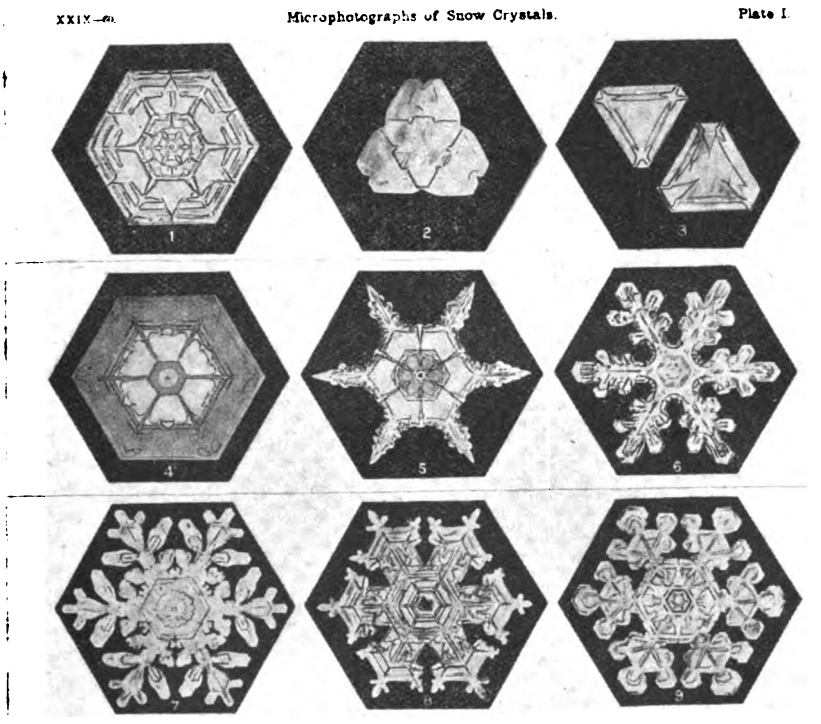


Fig. 112. — Cristaux de neige
(W. A. Benthley).

tels blocs ? Le problème a vite dépassé nos moyens d'analyse, ou plutôt il a vite changé d'*échelle*, et devra être envisagé autrement.

La raison de ce changement d'échelle est dans une *superposition de fonctionnements*.

Le cas de la neige le montre assez bien.

Digitized by Google

La formation de chacun des cristaux dépend seulement de l'action

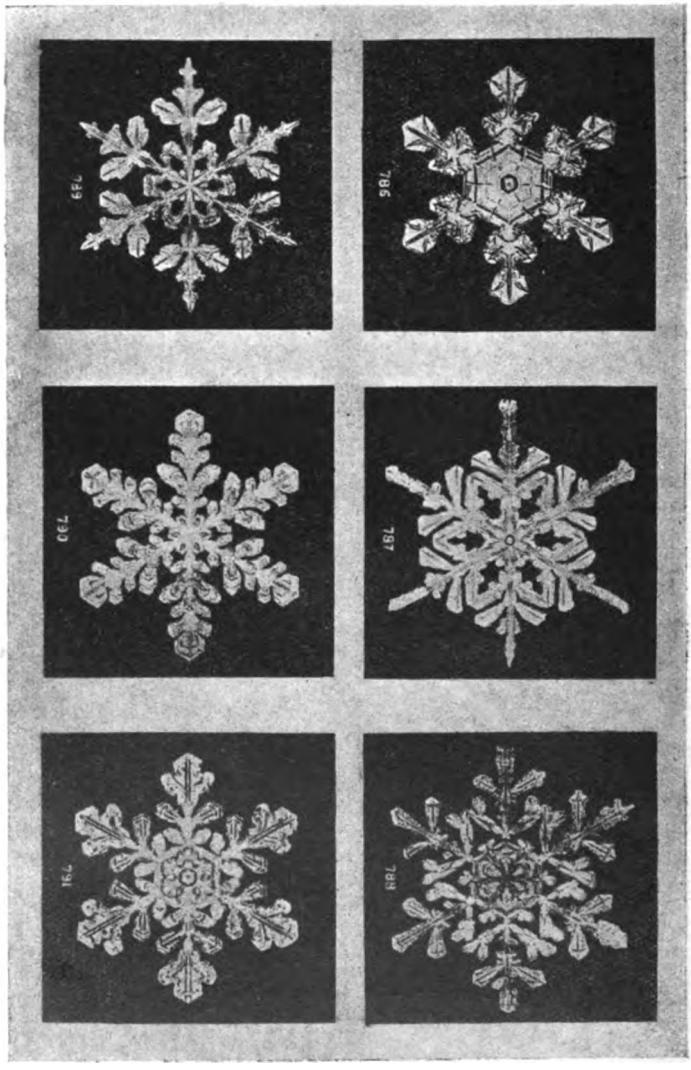


Fig. 113. — Cristaux de neige
(W. A. Benthley).

des forces moléculaires. Puis les cristaux s'assemblent en flocons et, sous l'action de la pesanteur, tombent. En arrivant au sol, suivant

Digitized by Google

la température, et suivant l'épaisseur de la couche, ils se tassent. La configuration de l'appui sous-jacent, la disposition des points de butée, un coefficient, non étudié, de feutrage, etc., sont encore d'autres facteurs morphologiques, et chaque fois le problème se complique.

Parfois, on croit apercevoir une loi. A Modane, est une grille de fer clôturant un jardin, dont le haut est représenté par la ligne supérieure de la figure 114. Par un temps tout à fait calme, une chute lente de gros flocons l'a ornée, sous mes yeux, de festons blancs très harmonieux, de plus en plus épais. Finalement, l'aspect est devenu celui de la deuxième ligne de la figure, ou de la troisième, en effaçant l'armature de fer. La ligne est d'une grâce charmante, qui semble très lisible, mais je n'ai pu en obtenir l'expression précise.

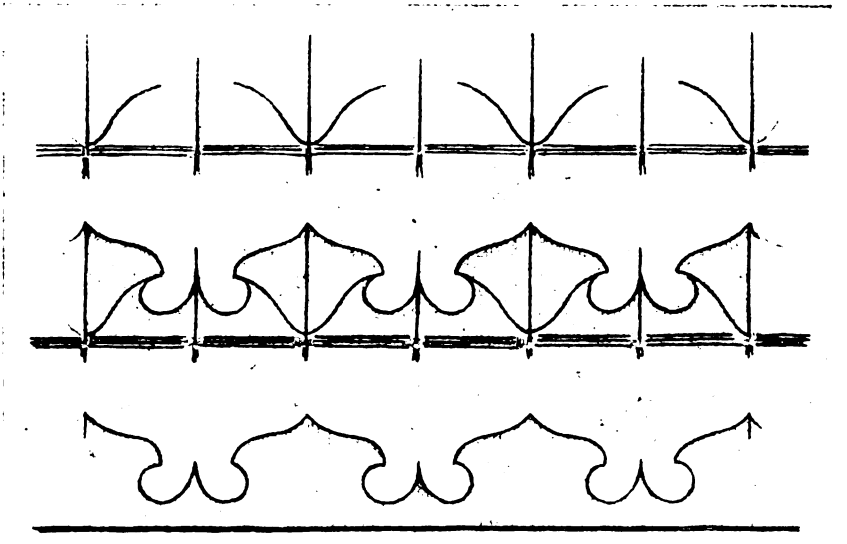


Fig. 114. — Neige déposée au haut d'une grille (Modane).

En haute montagne, c'est bien pis. Toutes les dimensions, toutes les conditions, pourrait-on dire, sont accrues, et le vent ajoute son action puissante aux facteurs précédents. Les deux figures 115 et 116

Digitized by Google

montrent toute l'élégance nerveuse des arêtes de neige gelée et

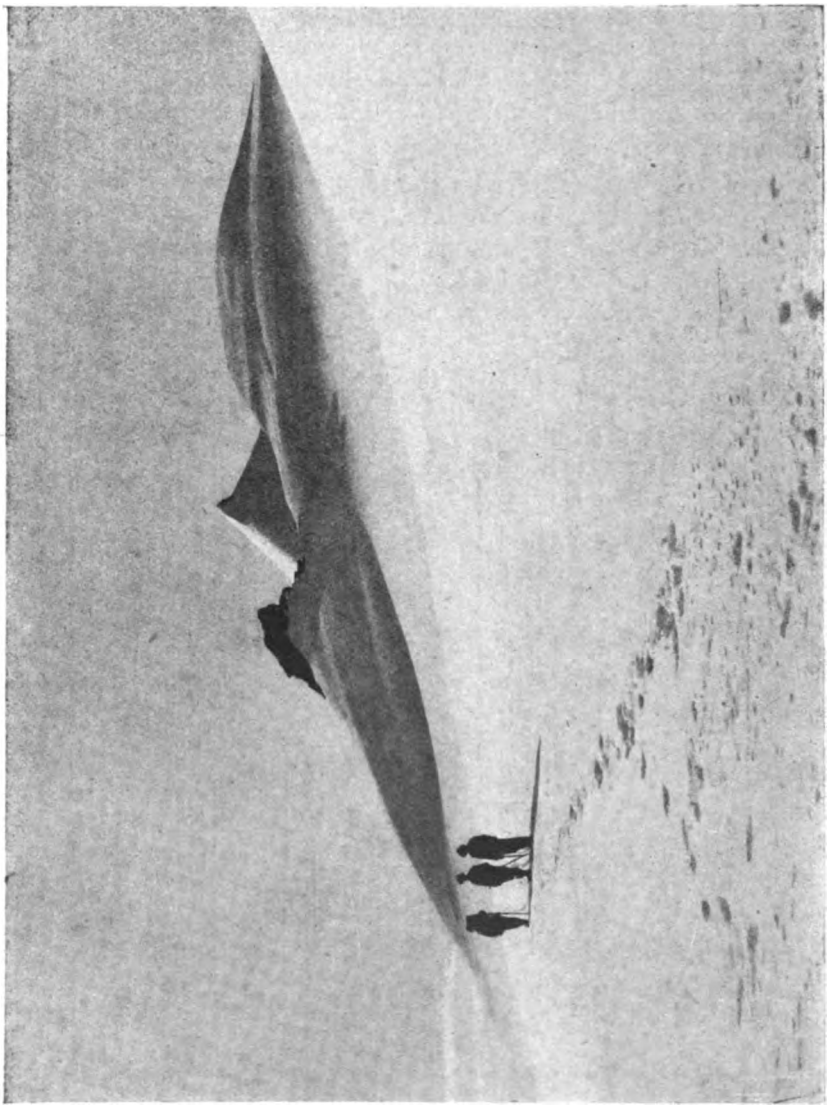


Fig. 115. — Col de l'Alphubel
(Vittorio Sella phot.).

modelée par le vent. Elles ont été photographiées à quelque distance. Dans la troisième (*fig.* 117), le photographe était sur l'arête elle-même :

Digitized by Google

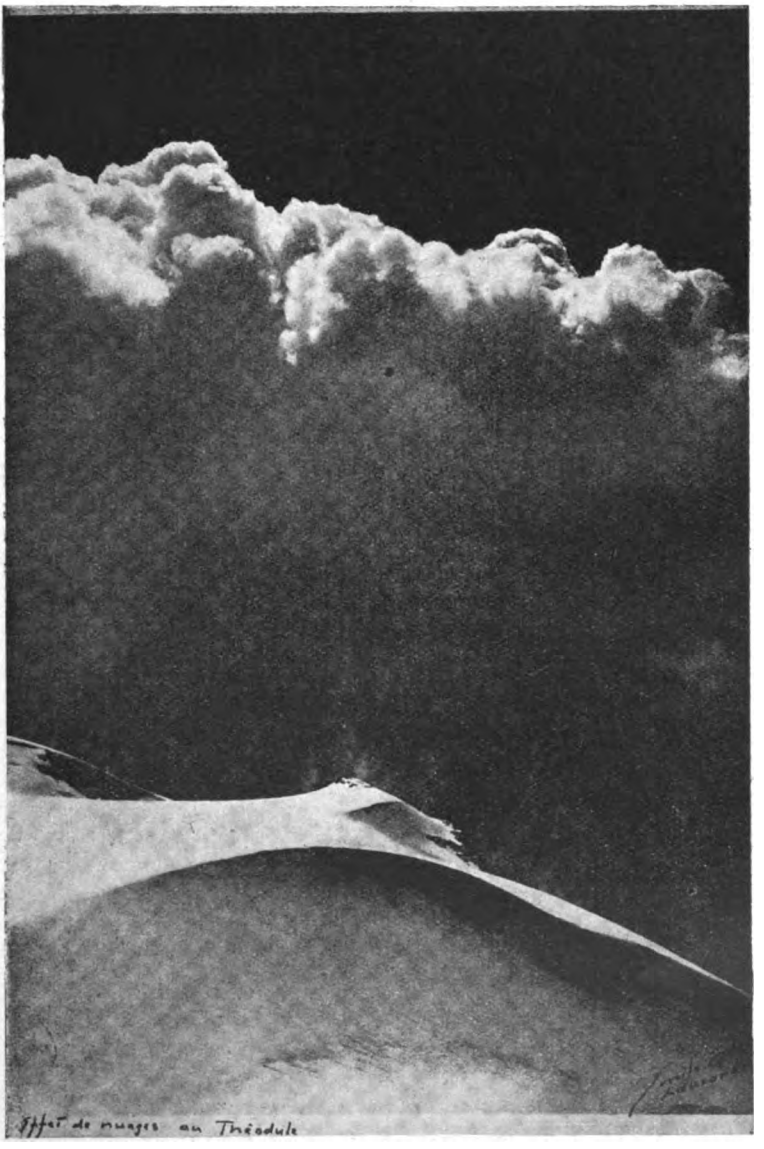


Fig. 116. — Col du Théodule
(E. Gos phot.).

Digitized by Google

Fig. 117. — Cervin. Arête de Z'Mutt
(E. Gos phot.).

Digitized by Google

pour les unes comme pour les autres, tout espoir d'analyse directe a disparu.

38. — CRISTALLOÏDES EN MILIEU COLLOÏDAL.

Et si, maintenant, les arêtes et les faces pouvaient, en apparence, s'incurver, et si les angles pouvaient, en apparence, prendre un certain « jeu », quelles autres complications ne verrions-nous pas survenir ?

Des arrangements bien curieux sont donnés par des corps dont la structure possède deux degrés d'orientation intermédiaires entre l'état cristallin et l'état amorphe. Ils ont été découverts par O. Lehmann, qui leur avait donné les noms, pas très distincts en français, de cristaux coulants et de cristaux liquides (1), ou, comme on les appelle maintenant, après les travaux récents de G. Friedel, corps smectiques, et corps nématiques (2).

Mais il n'est pas besoin d'aller jusqu'à ces corps singuliers, ni même d'avoir recours aux flocons et aux amas de neige, pour rencontrer des silhouettes dont l'ensemble échappe à une définition complète.

Les cristaux de neige (*fig.* 112 et 113) y échappent déjà, et les délicates « fleurs de glace » qui se forment, en hiver, sur les vitres, y échappent encore mieux. Et il suffit aussi de prendre des sels ordinaires, chlorures, sulfates, carbonates, etc., et de les faire cristalliser dans des conditions spéciales, en milieu dit « colloïdal ».

Alors, on assiste à l'altération et à la déformation progressive de tous les éléments qu'on savait définir. Et, en même temps, avec des contours infiniment nuancés, croissent et s'épanouissent des ***dispositions*** nouvelles. Nouvelles pour la matière inanimée seulement, car elles ressemblent étonnamment à d'autres formes, qui nous sont bien familières, mais que nous avons l'habitude de ne voir associées qu'à une matière vivante.

La complication de ces nouvelles formes est, elle aussi, à une autre *échelle* (par superposition de nouveaux fonctionnements) que celle des problèmes qui précédaient.

---

(1) Otto Lehmann, *Flüssige Kristalle* (Leipzig, Engelmann, 1904).

(2) *Annales de Physique*, 1922.

Digitized by Google

Telles sont, par exemple, les agates, improprement appelées « arborisées ». Elles ne contiennent aucune végétation fossile, mais seulement des filaments ramifiés d'oxyde de fer et de manganèse, qui ont crû dans un milieu siliceux particulier, colloïdal (*fig.* 118 et 119).

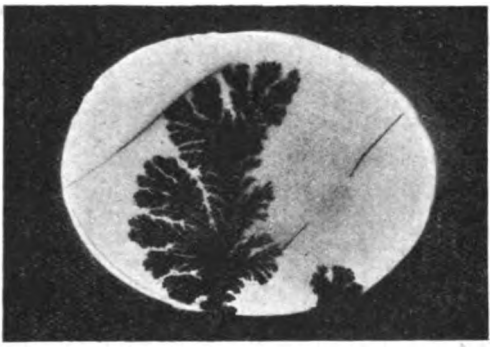


Fig. 118. — Dendrites d'oxyde de fer et de manganèse, dans de l'agate.

Une telle variation morphologique paraît surprenante. Elle semble, pourtant, n'avoir rien de très mystérieux, et même relever de facteurs physiques assez élémentaires :

On appelle *cristalloïdes* les corps qui, sans être déjà sous forme de cristaux, peuvent cristalliser directement : par exemple, en se congelant, l'eau, le mercure; ou, par concentration d'une solution mère, le chlorure de sodium des marais salants; etc. Mais il y a quantité d'autres substances, groupées sous le nom générique de *colloïdes* (simplement parce que la colle, si familièrement connue, est l'une d'elles, et qu'on l'a prise *arbitrairement* comme type), qui ne passent pas de l'état liquide à l'état cristallin, mais à l'état d'une gelée, ou *gel*, plus ou moins dur, et de structure *granuleuse* [1]. Or, en regardant au microscope les deux agates précédentes, on y retrouve

[1] Nous avons réduit au minimum les indications nécessaires, et nous renvoyons le lecteur aux Ouvrages spéciaux : *Les états physiques de la matière*, par Ch. Maurain (Alcan, 1910); *Les Colloïdes*, par J. Duclaux (Gauthier-Villars, 1920); *Les Protéines*, par J. Lœb, Trad. H. Mouton (Alcan, 1924); *La Théorie des phénomènes colloïdaux*, par J. Lœb, Trad. H. Mouton (Alcan, 1925).

Digitized by Google

toutes les apparences qu'eût données, en effet, un liquide brun, diffusant dans une gelée claire, non miscible à lui, et s'étant, qu'on

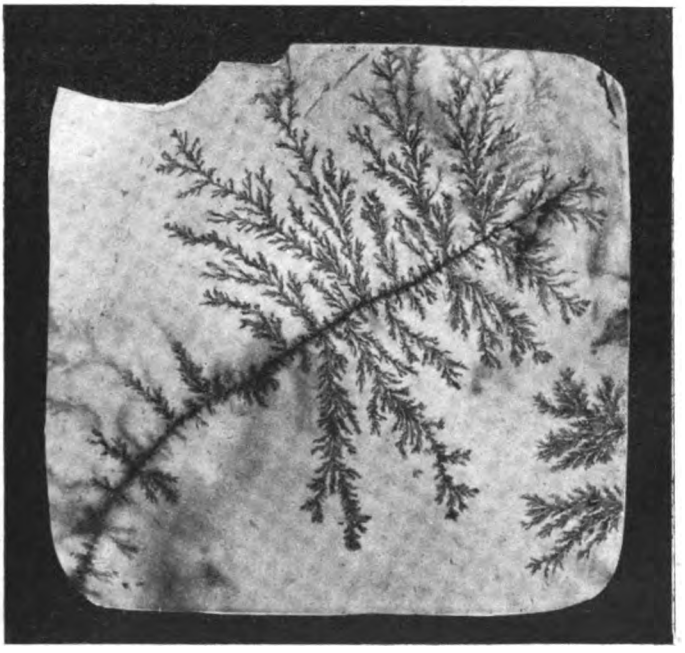


Fig. 119. — Dendrites d'oxyde de fer et de manganèse, dans de l'agate.

nous permette l'expression, faufilé comme il a pu, entre les granules translucides de celle-ci : le façonnage est purement physique, et la morphologie suit la structure et le fonctionnement.

On pourrait, cependant, désirer voir confirmer, d'une autre manière, que l'agate est bien un gel colloïdal (1). Sans s'adresser à des procédés de contrôle direct, on peut tenter une démonstration morphologique : faire jouer, dans des conditions comparables, des facteurs colloïdaux, et voir si les résultats sont analogues aux précédents. C'est, en effet, ce qui arrive. Stéphane Leduc a fait cristalliser, dans de l'eau additionnée d'albumine, de gélatine, etc., les sels les plus divers, et il a

(1) Cf. plus loin (p. 194) R. E. Liesegang, *Die Achaten* (Dresden u. Leipzig, Steinkopff, 1915).

Digitized by Google

obtenu des arborescences, ou *dendrites*, très analogues d'aspect à ceux qu'on trouve dans les agates, ou dans d'autres roches (*fig.* 120, 121, 122).

Par « analogues », nous sous-entendons : la disposition ramifiée. dendritique, avec, éventuellement, mais non nécessairement, des terminaisons élargies.

Malgré ce premier succès. on pourrait encore penser que la produc-

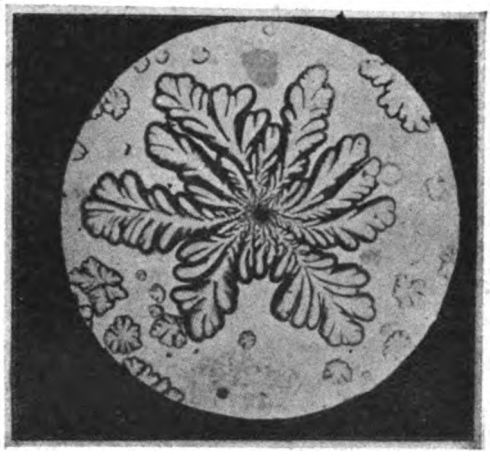


Fig. 120. — Dendrites de chlorure de sodium, en milieu colloïdal (Stéphane Leduc).

tion de ramifications est liée exclusivement à la présence d'un colloïde, c'est-à-dire que l'action de ce dernier n'est pas purement physique, et que, connu ou non, il s'y mêle un autre facteur inhérent à lui.

Pour le savoir, il n'y a qu'à varier les conditions de l'expérience, de telle manière que son mécanisme demeure inchangé, mais soit dépourvu de substratum colloïdal.

On peut le faire en électrolysant de la terre imbibée d'une solution de sulfate de cuivre. Il s'y développe de beaux dendrites de cuivre, que la radiographie décèle aisément (1).

Plus simplement encore : au Muséum, dans les vitrines de la Minéralogie synthétique, se trouvent des dendrites de sulfate de

(1) James Chappuis, Stand de l'Exposition de Physique, décembre 1923.

Digitized by Google

Fig. 121. — Dendrites d'hyposulfite de sodium, en milieu colloïdal (Stéphane Leduc).

Fig. 122. — Dendrites de sulfate de manganèse, en milieu colloïdal (Stéphane Leduc).

Digitized by Google

cuivre produits, tout uniment, en laissant diffuser et cristalliser ce sel dans du sable ordinaire : l'influence du milieu et son mode d'action sont alors évidents.

Cette expérience est réalisée, très souvent, en hiver, lorsque de la boue se congèle, et le mécanisme même de la bifurcation se laisse surprendre tous les jours, dans les rues, par temps pluvieux : les gouttes grasses, tombant des autos sur le sol mouillé, y diffusent en beaux dendrites irisés.

On peut faire appel à des irrégularités plus minimes encore, imperceptibles au regard. Stéphane Leduc étale, sur une plaque de verre, une solution d'azotate d'argent, et l'électrolyse lentement : de fort belles ramifications d'argent métallique s'y développent (*fig.* 123).

Fig. 123. — Dendrites d'argent électrolytique (Stéphane Leduc).

Dans cette expérience, comme dans celle de M. J. Chappuis, l'électricité, pas plus que les colloïdes de tout à l'heure, ne joue de

Digitized by Google

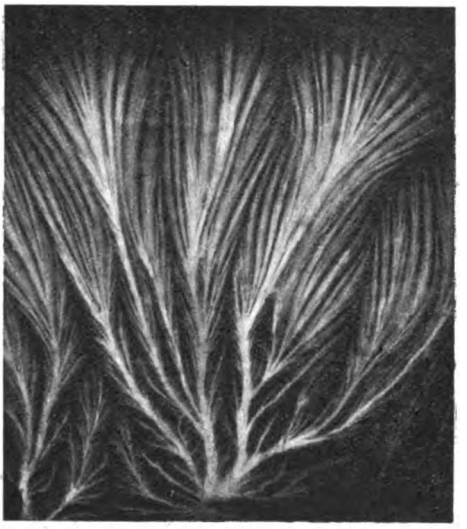


Fig. 124. — Décharge électrique
(Stéphane Leduc).

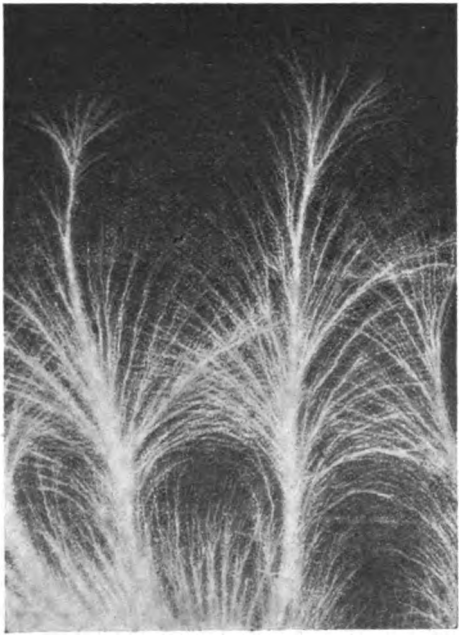


Fig. 125. — Décharge électrique
(Stéphane Leduc).

Digitized by Google

rôle spécial, spécifique à elle : les petits obstacles matériels, irrégulièrement répartis, paraissent suffire pour expliquer la croissance ramifiée.

La présence d'un liquide n'est pas, elle non plus, un élément indispensable : en montagne, de magnifiques dendrites de glace, atteignant souvent d'assez grandes dimensions (de l'ordre du décimètre) sont façonnés, grain à grain, par le vent, avec du brouillard gelé.

Et enfin, la présence d'un élément solide n'est pas davantage nécessaire, et le tout peut être gazeux : dans l'air, les étincelles, aigrettes et effluves électriques, donnent aussi des dendrites, admirables souvent de grâce et d'élégance (*fig.* 124 et 125).

39. — REMARQUE.

Les deux éléments principaux d'une morphologie. — L'ensemble des dendrites que nous venons de voir, des agates aux aigrettes électriques, permet une constatation fort intéressante.

Toutes ces formes possèdent un élément morphologique commun, la ramification, lié à un facteur mécanique commun, ou fonctionnement commun, celui d'une expansion gênée, et subissant, de ce fait, de nombreuses bifurcations.

Et toutes ces formes possèdent des éléments morphologiques individuels, surtout dans le détail des contours, et liés aux propriétés individuelles, ou fonctionnement individuel, des matières mises en œuvre.

Ces deux groupes de phénomènes, *forme et fonctionnement communs*, *forme et fonctionnement individuels*, permettent une analyse morphologique efficace.

Mais les cristaux ou les dendrites sont loin d'être seuls justiciables de cette remarque.

Elle est, au contraire, *générale*, et en raison de la valeur de cette circonstance, nous nous arrêterons un instant pour le montrer. Nous reviendrons aux colloïdes ensuite.

I. Il n'y a aucune prééminence à donner, en soi, à l'un ou à l'autre des deux groupes de phénomènes, et il ne faut jamais oublier de les considérer tous les deux.

Digitized by Google

Aucun des deux, en effet, ne manque jamais, même lorsque l'autre domine beaucoup. Dans un Mémoire sur *Les Cassures et l'Éclatement* (1), M. Ch. de Fréminville a montré que la cassure par éclatement présente, dans les matières les plus diverses, fragiles ou ductiles, le même aspect. Il semble que l'individualité de la matière, surprise par la brusquerie de la rupture, et par la rapidité de sa propagation, n'ait pas eu la possibilité de se manifester. Pourtant, il n'y a jamais identité, et l'examen attentif des surfaces de sectionnement révèle toujours, dans les petits détails, la matière en cause.

II. La discrimination est, du reste, souvent difficile, en raison du degré relativement proche des consistances de deux matières solides, mais il suffit de comparer, en des conditions opportunes, les déformations brusques d'un solide et d'un liquide, par exemple, pour voir, avec évidence, les accents particuliers, individuels, transparaître sous les grandes modifications communes.

L'expérience a été réalisée par A. M. Worthington, dans sa jolie étude sur les *Éclaboussures* (2). Les figures 126 et 127 montrent les phases successives d'une éclaboussure, provoquée dans de l'eau teintée de lait, par la chute d'une petite sphère un peu rugueuse. Au point d'impact, il s'est formé une sorte de coupe ou de cratère. Ses parois extérieures se raccordent au plan général du liquide par une douce surface au profil arrondi. Ses parois intérieures descendent droit. Le bord de la cupule est arrondi, lui aussi, en ourlet gras, et il est formé par un chapelet de nodosités ovoïdes qui, parfois, poussent de petites protubérances mousses; etc.

Maintenant, à l'aide de moyens appropriés, transcrivons le tout en acier : prenons une plaque de blindage, un canon, plaçons-nous à quelques kilomètres, et transperçons la plaque d'un projectile. Au point d'impact, il s'est formé une sorte de coupe, ou de cratère. Ses parois extérieures se raccordent au plan général de la plaque par une petite zone surélevée, douce surface au profil incurvé. Les parois intérieures... Ne dirait-on pas que nous allons réciter la description précédente ? C'est qu'en effet, les mêmes éléments s'y retrouvent

(1) *Revue de Métallurgie*, septembre 1914. Nous regrettons de ne pouvoir en donner ici un exposé détaillé.

(2) *A study of splashes* (London, Longmans-Green, 1908).

Digitized by Google

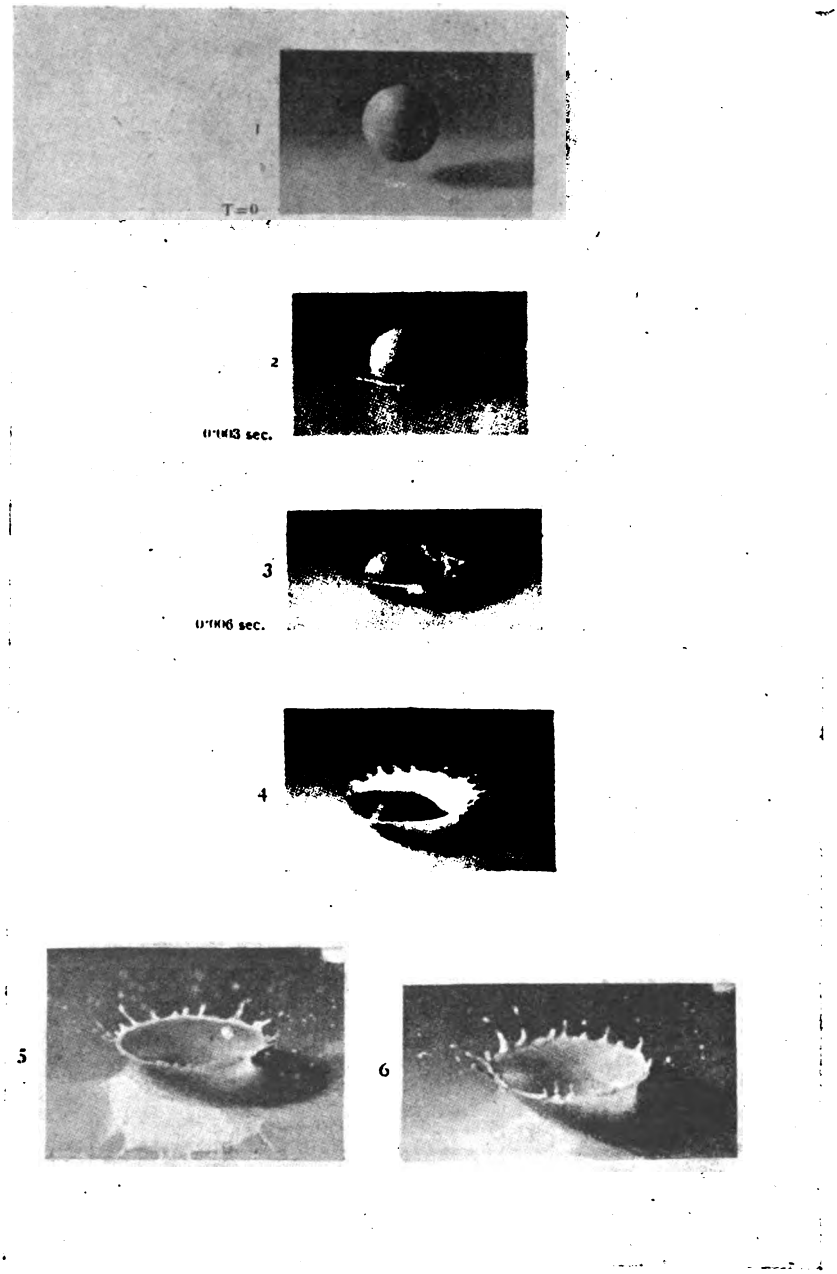
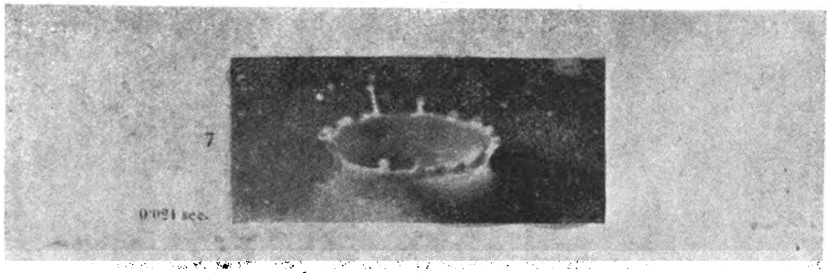


Fig. 126 et 127. — Eclaboussures. Sphère rugueuse tombant dans de l'eau teintée de lait (A. M. Worthington).

Digitized by Google



7

0·024 sec.

8

·0082 sec.

9

0·042 sec

10

0·060 sec.

Digitized by Google

tous. Oui, mais tous sont modifiés. La dure matière de l'acier ne

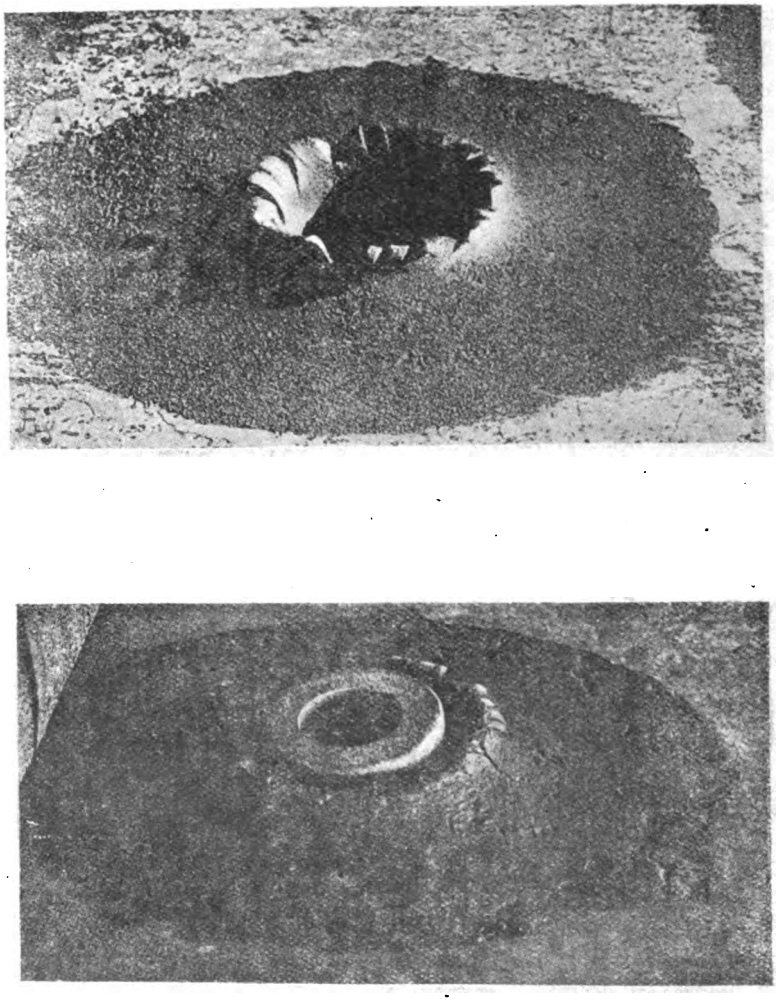


Fig. 128. — Eclaboussure permanente provoquée par un obus dans une plaque de blindage (A. M. Worthington).

s'accommode pas d'une forme ronde. Les courbes, lorsqu'elle les

Digitized by Google

admet, sont d'un galbe nerveux. Le cratère s'évase encore en une jolie corolle, mais les bords n'en ont plus l'ourlet. Celui-ci s'est résolu en une couronne de pétales charnus, séparés par des crevasses aiguës : la matière, en se gerçant, s'est donné les lignes droites et les angles aigus qui expriment son caractère (*fig.* 128).

L'éclatement est un cas extrême, et l'éclaboussure est encore bien vive, en regard des expansions d'avant, qui étaient si lentes. Mais il est fort aisé de trouver des cas intermédiaires, qui constituent autant de vérifications de l'analyse première.

III. L'écorce terrestre fut jadis le siège de contractions puissantes, qui la ridèrent en ondulations immenses. Sous l'effort de forces tangentielles croissantes, les ondulations formèrent de grands plis qui, poussés en avant, se couchèrent, puis chevauchèrent les uns par-dessus les autres, en s'étalant sur 100 à 150^{km} de longueur : depuis Vienne jusqu'à Barcelonnette, les Alpes ne sont que des plis couchés par-dessus des plis couchés. Dans ces surfaces structurales anciennes, les forces d'érosion ont sculpté tout le pays, et non pas au hasard, car les plis ont servi de canevas directeur aux forces modelantes, et leur ont imposé un rythme et une norme. De là, tout d'abord, l'aspect si caractéristique du paysage de montagne, où les *éléments du dehors*, toujours pareils, de la glace, de l'eau et du vent, aidés par l'immuable pesanteur, ont gravé partout les *mêmes traits généraux*.

Mais à côté des traits généraux communs sont les différences particulières. C'est déjà de très loin qu'un massif, par l'aspect de sa silhouette sur le ciel, par la famille de ses formes, dira s'il est éruptif, métamorphique, calcaire, etc., parce que les roches revêtent, *selon leurs qualités individuelles*, une physionomie bien tranchée, c'est-à-dire, sous des apparences infiniment diverses, la répétition d'accents spéciaux, tant dans le dessin des contours, que dans les détails de la surface. Là est la raison des ressemblances, plus ou moins étroites, que, de tout temps, les montagnards se sont plu à relever entre sommets de même matière, ou de matière analogue : le Cervin et la Dent d'Hérens, par exemple, d'un certain point de vue, bien entendu. En Haute-Maurienne, dans la traversée des arêtes des Levanna, certains passages rappellent l'aspect (1) de la Pointe de

(1) Symétrique verticalement.

Digitized by Google

l'Échelle, près de son sommet Nord, en regardant vers Doran, etc. Et pour l'avoir éprouvé de tout près, un alpiniste sait que les lignes incurvées d'un col vont de pair avec une roche moins dure que celle du sommet aigu voisin; que, pour l'escalade, en raison des différences de solidité, une face ne vaut pas une arête, et que, dans une face, les nervures sont préférables aux « couloirs » : une sérieuse inspection morphologique dispense de bien des tâtonnements.

IV. La montagne suggère encore deux comparaisons fort instructives.

Dans les régions élevées, par un temps froid, la neige y tombe « en farine », disent les alpinistes, c'est-à-dire en poudre très fine et dont les grains roulent les uns sur les autres, sans s'agglomérer.

Dans les pentes raides, elle coule et forme des ruisselets ou des cascades, presque comme de l'eau. Dans les endroits relativement plans, lorsqu'il n'y a pas, ou peu, de vent, elle peut s'accumuler en modelés très doux, qui rappellent étonnamment ceux des sables du désert. Mais la grande ressemblance due à un régime commun, là avec l'eau et ici avec le sable, est seulement approchée : la tension superficielle et la capillarité, pour l'eau, et, pour le sable, la densité et la consistance globale, déterminent des accents individuels qui empêcheront toujours un œil exercé de confondre les morphologies respectives (*fig.* 129).

Et l'analyse est confirmée et complétée par les descriptions des ruisseaux de cendre blanche des volcans [1] : ténue et mobile, elle coule comme un véritable liquide, mais, légère extrêmement, son courant n'est pas dévié ou séparé par un obstacle, et elle passe mollement par-dessus.

V. Allons vers des amas de globules plus légers encore. Il y a des nuages qui, pendant une seconde, paraissent ressembler à une montagne. Mais cette ressemblance n'est qu'une approximation grossière, et les deux objets n'ont pas un seul trait commun, parce qu'il n'est pas possible que deux matières, de *propriétés* aussi différentes [2], aient quoi que ce soit de pareil.

Et si nous comparons les nuages entre eux, comme nous avons

[1] A. Lacroix, *La Montagne Pelée et ses éruptions* (Paris, Masson, 1905).

[2] Nous ne disons pas : deux matières aussi différentes, parce que les propriétés importent avant tout, et non pas la composition, indépendamment des propriétés : L'exemple VI souligne ceci.

Digitized by Google

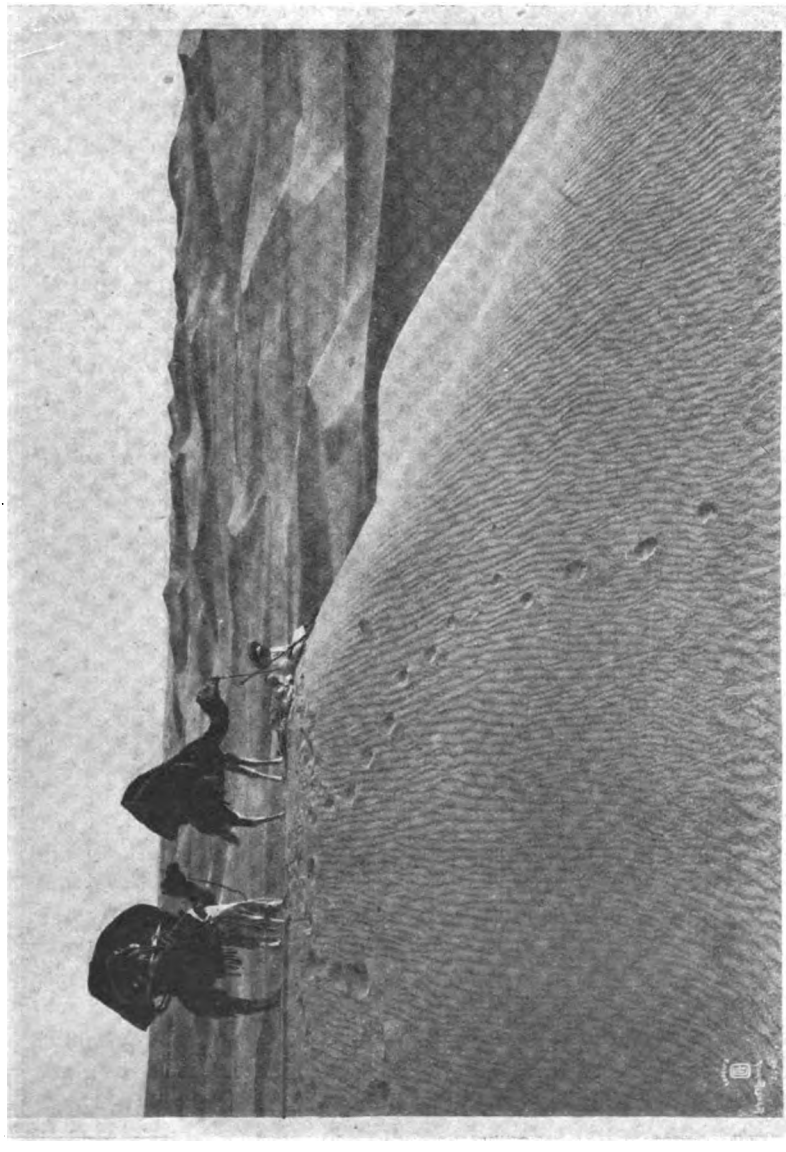


Fig. 129. — Modelés du sable dans le désert
Lehnert et Landrock, phot.).

Digitized by Google

comparé entre elles les pierres, nous remarquerons que leurs formes, dans leur infinie variété, se groupent cependant toutes autour d'un certain nombre de modalités bien définies. Et ces modalités d'accent correspondent précisément, l'une à des paillettes de glace et l'autre à de fines aiguilles, celle-ci à de microscopiques gouttelettes liquides, celle-là à des gouttes relativement grosses, c'est-à-dire à des états individuels divers, donnant au nuage une structure et une consistance variée, revêtant une physionomie particulière.

Et cela est si vrai que si l'on considère les nuées ardentes, si denses, observées lors des éruptions de la Montagne Pelée, elles prennent un aspect compact, et, d'après M. A. Lacroix, on n'en rencontre l'analogue que dans les lourds remous, provoqués par une hélice de navire, en eau boueuse (*fig.* 130).

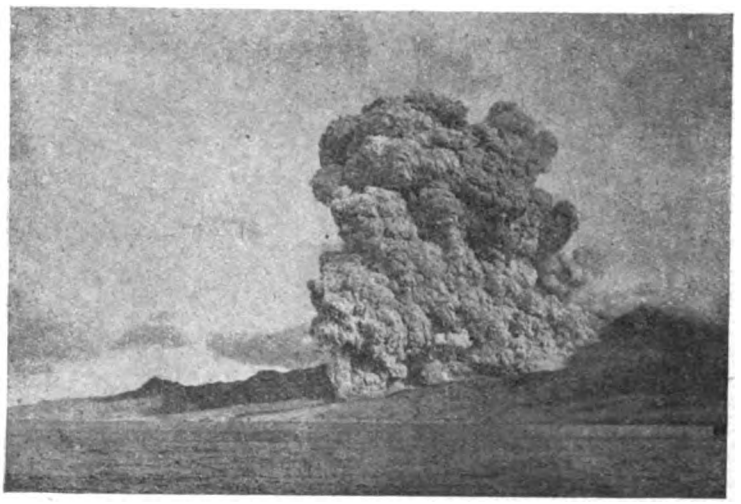


Fig. 130. — Nuée ardente, descendant de la Montagne Pelée, à la Martinique (M. Alfred Lacroix, phot.).

VI. Peut-être pourrait-on croire que la distinction, en deux groupes, des phénomènes morphologiques (forme et fonctionnement communs, forme et fonctionnement individuels), ne s'applique qu'à la matière inanimée, et qu'elle devient inefficace ou impossible à saisir lorsqu'il s'agit des constructions lentes dues aux réactions complexes de la matière vivante.

On ferait erreur. Chez tous les êtres vivants, on retrouve cet accord

Digitized by Google

perpétuel et intime entre la matière, les forces modelantes (appelées ici : conditions d'existence) et la forme.

En voici un exemple. On trouve dans la mer, parmi bien d'autres, trois classes de petits animaux (dont nous avons vu quelques-uns plus haut), constitués par une cellule vivante, qui a sécrété un squelette. Dans la première classe, le squelette est en silice (1); dans la seconde, il est en acanthine (2); dans la troisième, en carbonate de chaux (3). On serait tenté de penser, *a priori*, que les formes que vont prendre, ici, la silice et le carbonate de chaux, qui sont deux minéraux, vont avoir quelque analogie, et que les formes de l'acanthine, qui est une matière organique, seront différentes en tous points.

Il n'en est rien. La silice et l'acanthine sont toutes deux des matières très dures, élastiques, résistantes. Aussi, prennent-elles des formes voisines, où prédominent les déliés, les parties élancées et minces, les longs spicules et les ajours. Le carbonate de chaux, au contraire, est moins dur, il est peu élastique, il est relativement fragile. Aussi se résigne-t-il à des formes gracieuses, mais assagies, mais compactes, et où les pleins prédominent sur les vides : jamais la « petite nature » du carbonate de chaux ne lui permettra, dans son dessin et dans son décor, les audaces des tempéraments, mieux trempés, de la silice et de l'acanthine (4).

L'exemple précédent, qui compare entre eux des organismes différents est, en quelque manière, extrême, et le squelette d'un seul et même animal prête à des remarques identiques. Ainsi, chez l'Homme, les os plats et le milieu des os longs sont durs, et leur forme est amincie ou allongée, tandis que les extrémités des os longs, qui sont moins dures, ont une forme ramassée. Etc.

Les observations de ce genre peuvent se multiplier à l'infini, et vérifieraient que dans la série des vivants, aussi, le premier groupe des phénomènes (forme et fonctionnement communs) se présente comme la conséquence des actions du dehors, et que le second groupe (forme et fonctionnement individuels) dépend de la matière dont est

(1) Radiolaires siliceux.
(2) Radiolaires Acanthaires.
(3) Foraminifères.
(4) Il y a des exceptions, d'ailleurs rares : telle la globigérine.

Digitized by Google

constitué un individu donné. Au premier groupe sont plus particulièrement liées les propriétés acquises et l'adaptation, et au second l'hérédité et les propriétés innées. Toutefois, ainsi qu'il a été dit au paragraphe 13 (p. 26), l'intérêt de cette distinction est tout relatif à une certaine durée d'observation, et, entre les éléments considérés, les différences ne sont pas dans leur essence, mais seulement dans leur rôle à un moment donné. Nous retrouverons ces notions plus loin.

VII. Faisons un pas de plus, en anticipant un peu sur l'Esthétique.

Lorsque les Grecs façonnaient une moulure de pierre tendre, ils se gardaient de la tracer comme ils l'eussent fait pour une pierre dure. Lorsqu'ils modelaient, à Agrigente, des profils si sobrement fouillés, et au Parthénon des profils si fins, si profondément élégis, c'est qu'ils avaient là une pierre peu consistante, et ici la matière dure et serrée du marbre.

Lorsque les artisans du Moyen Age voulurent s'inspirer de leurs églises de pierre pour faire des monstrances d'argent, ils eurent soin, tout en gardant mêmes proportions et même dessin, de mettre en ajours toutes les surfaces pleines qui, dans le modèle, servaient de remplissage aidant au soutien. Ils conservèrent tous les éléments actifs de la construction, tous les organes de l'édifice; mais en les traduisant en métal, ils en diminuèrent les épaisseurs relatives, ils en augmentèrent la portée, ils y ajoutèrent des finesses, de manière que l'aspect clair et léger ainsi obtenu mît bien en évidence les qualités de ténacité et de souplesse de la nouvelle matière (*fig.* 131). Et dans un métal plus dur ces modifications se fussent accentuées encore, et au contraire adoucies et amenuisées dans un métal plus doux.

Or, la transcription des « notes » d'une matière donnée, en « notes » d'une autre matière, n'est autre que l'*Interprétation* en Art.

Donc, le premier groupe des phénomènes (forme et fonctionnement communs) correspond à ce qu'est, parmi les hommes, la *Technique*, ou recherche et moyens d'établissement de la forme générale.

Et le second groupe (forme et fonctionnement individuels) correspond à ce qu'est, en Art, l'*Interprétation*, ou recherche des accents

Digitized by Google

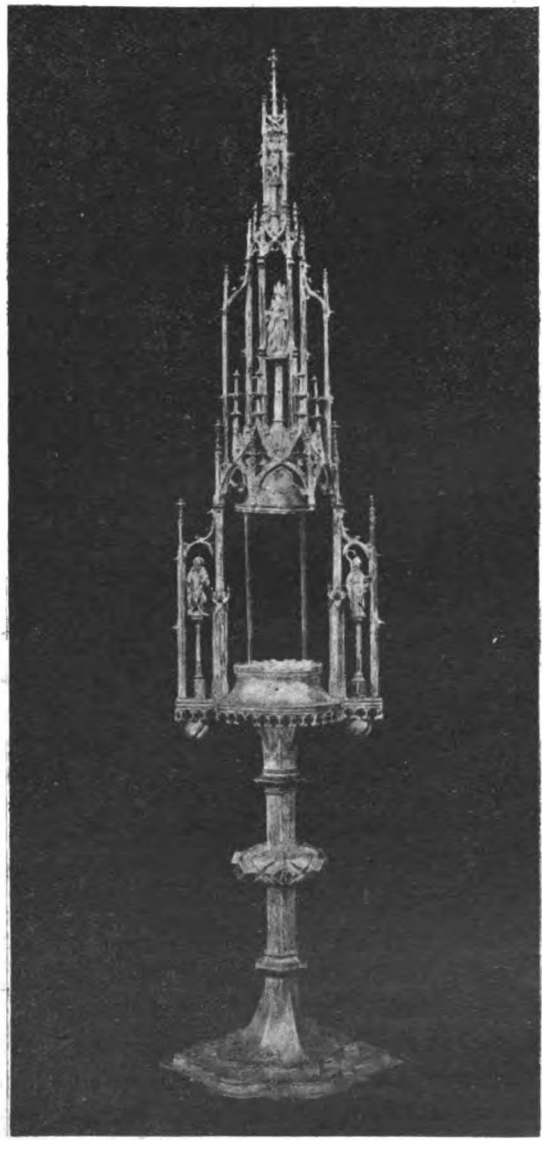


Fig. 131. — Monstrance en argent (XVI^e s.) (Musée de Bâle).

Digitized by Google

particuliers à la matière traitée, et, au delà (mais ceci sera précisé ailleurs), particuliers à l'auteur (1).

Ainsi, d'une part, nous avons les « modèles physiques » de ces deux opérations, si exclusivement humaines semblait-il, la Technique et l'Interprétation.

D'autre part, quelque étendues et profondes que soient les modifications dues à une interprétation, elles ne sont ni d'échelle ni d'allure différentes de celles rencontrées dans la nature, lorsque de mêmes influences agissent sur des matières diverses.

Les rapports de la Forme et de la Matière sont donc les mêmes, que la matière soit mise en œuvre par le jeu des forces naturelles, ou mise en œuvre par l'homme. Et lorsqu'une même opération est appliquée à des matières diverses, les transcriptions résultantes obéissent à la même norme que le facteur opérant soit l'Artiste ou la Nature.

Les lois de la nature s'appliquent à l'esprit et aux sens, aussi bien qu'à la cellule, au granule colloïdal, au cristal. Les différences sont bien plus dans la modalité des réactions que dans leur essence. Et ainsi, nous dit l'antique parole du Rig-Véda : « *Le réel est un, même si les Sages lui donnent des noms divers.* »

La proposition énoncée au début de ce paragraphe 39 est donc bien générale et, comme permettaient de l'entrevoir, dès le paragraphe 12, les Transformations de figures, il se dessine une très grande et belle unité dans la manière d'être de toutes les Formes.

40. — PRÉCIPITÉS VARIÉS, EN MILIEU COLLOÏDAL.

Revenons aux colloïdes.

La cristallisation en milieu colloïdal n'est qu'un cas particulier des précipités ou dépôts, de tout genre, naturels ou artificiels, spontanés ou provoqués, réalisés en ce milieu.

Le précipité peut dominer, au point de faire un bloc où le colloïde n'est plus qu'une trace. Ou bien il peut n'être qu'une brume à peine visible, dans un colloïde dominant. Et entre deux, il y a place pour toutes les teneurs possibles.

---

(1) Chapitre VII.

Digitized by Google

Il peut, aussi, être nettement cristallin, ou bien présenter tous les « passages » possibles de l'état de cristal à l'état dit « amorphe ». Ce terme, impropre, trahit simplement la difficulté d'une bonne dénomination.

L'étude des précipités en milieu colloïdal présente deux aspects, étroitement liés.

D'une part, ils accompagnent une diffusion des liquides en jeu, et ils en marquent les étapes. Leurs configurations, ou *figures de diffusion*, donnent des indications sur le mécanisme de celle-ci.

D'autre part, les circonstances de leur production ont des points communs avec les circonstances où se produisent quantité de précipités dans les tissus des organismes vivants, de sorte que souvent nous aurons un « modèle » de la genèse de ces derniers.

Si maintenant on veut bien considérer :

Que colloïde désigne une structure, bien plus qu'une matière : légion sont les substances (toutes, peut-être, pensent certains) qui, comme la silice, peuvent se présenter à l'état cristalloïde (quartz), ou colloïdal (agates, opales, etc.);

Que, pour un même colloïde, toutes les consistances sont possibles, depuis le très fluide jusqu'au très dur, en passant par tous les états intermédiaires : le caoutchouc peut donner la « dissolution » liquide, familière aux cyclistes, une pâte visqueuse, une matière souple et très élastique, ou, durcie, l'ébonite; la silice colloïdale peut former une pseudo-solution, très liquide, ou une gelée molle, analogue à une colle de pâte, fraîche, ou un gel, plus dur que l'acier trempé; etc.;

Que beaucoup de roches naturelles sont des colloïdes, ou contiennent des colloïdes;

Que la matière vivante est essentiellement un colloïde, plus ou moins différencié, et contenant des cristalloïdes : presque tous les liquides de l'organisme, tous les protoplasmes, tous les tissus vivants, et tous les tissus-excreta (pigments, écailles, poils, plumes, becs, ongles, cornes, dents, carapaces, squelettes, etc.);

Que, dans tous les échanges, au sein de la matière vivante, un grand rôle est joué par la diffusion, par l'osmose (nom donné à une filtration spéciale à travers des membranes d'une perméabilité particulière), et par les précipités qui peuvent s'ensuivre;

Alors, on apercevra la très grande importance des études dont nous parlons.

Digitized by Google

Le terme de *synthèse* a été prononcé pour elles. En toute rigueur, il n'y a synthèse vraie que si tous les constituants d'un phénomène proposé sont présents dans le résultat, et présents exclusivement. Il convient donc d'employer ce terme avec discernement, et de le réserver aux cas, bien déterminés, où il est exact. Pour les autres, « modèle » convient bien. Il n'est pourtant pas, lui-même, exempt de toute ambiguïté, et il est bon de spécifier que ce modèle est la transcription, ou la représentation, du phénomène proposé, avec une approximation qui n'a de limite que l'identité ou synthèse vraie.

Mais, même lorsque la synthèse n'est que partielle, son intérêt est encore très considérable, parce qu'elle peut, souvent, donner des indications précieuses, *permettant de distinguer les facteurs qui jouent dans l'enchevêtrement compliqué des réactions de la matière vivante.*

Productions ou « Croissances » osmotiques.

Les croissances cristallines, que nous avons vues un peu plus haut, nous ont montré comment l'apparition d'une disposition morphologique nouvelle, et commune, la ramification, exprimait simplement une gêne physique subie par une expansion.

Les croissances *osmotiques* vont nous montrer d'autres dispositions morphologiques nouvelles, en liaison avec une autre influence du milieu.

Elles auront aussi l'avantage de constituer un exemple simple de diffusion et d'osmose, deux facteurs, qui, parmi d'autres, jouent un grand rôle dans la morphologie des êtres vivants.

Si, dans une même enceinte, on met de l'eau et une solution saline, les deux liquides *diffusent*, de manière à occuper toute partie du volume liquide global, si bien qu'au bout d'un certain temps, la composition du mélange résultant est la même en tous les points de ce volume.

Si, dans l'enceinte, une paroi ou une membrane *perméable* sépare les deux liquides, deux courants, de vitesse, d'intensité et de sens différents traverseront la membrane; et, au bout d'un certain temps, plus long que dans la première expérience, les deux liquides, de part

Digitized by Google

et d'autre de la membrane, auront encore finalement la même composition.

Mais il existe un très grand nombre d'autres membranes (par exemple dans les tissus vivants), qui laissent passer l'eau, et non les sels, de sorte que le courant liquide ne s'effectue que dans un seul sens, et que l'état final, de part et d'autre de la membrane, est une disparité, là où, précédemment, il y avait uniformité. Une telle membrane est dite *semi-perméable*, et le phénomène de diffusion disparate, ou filtration spéciale, est appelé *osmose* (1).

A vrai dire, il n'y a guère de membranes à perméabilité complète, et pas, non plus, de membranes à semi-perméabilité rigoureuse. Ce sont là deux propriétés limites, dont les perméabilités ou semi-perméabilités naturelles s'approchent plus ou moins, et en présentent d'ailleurs tous les degrés intermédiaires possibles.

Les conditions que nous avons énoncées sont les plus simples de toutes. D'elles, on passerait, sans difficulté, aux phénomènes d'échanges entre deux solutions salines, ou entre une solution saline et une pseudo-solution colloïdale, ou entre deux pseudo-solutions colloïdales, celles-ci contenant, ou non, des cristalloïdes.

En particulier, on apprendrait que, d'une manière générale, les pseudo-solutions colloïdales diffusent peu, et lentement, en comparaison des solutions cristalloïdes, même en l'absence de toute membrane de séparation. Souvent elles diffusent à peine, et, dans certains cas, non rares, point du tout.

(Enfin, rappelons, pour mémoire, qu'il existe un parallélisme complet entre les lois de l'osmose et celle de la force élastique des gaz.)

La formation de membranes, à semi-perméabilité plus ou moins approchée, est habituelle aux tissus vivants.

Mais elle ne leur est pas exclusive. Le chlorure de calcium mis dans une solution de carbonate de potassium, le sulfate de cuivre et le ferrocyanure de potassium, le tannin et la gélatine, etc., donnent aussi bien des membranes semi-perméables. (Nous disons semi-perméables, pour abréger, en convenant de sous-entendre que la semi-perméabilité n'est jamais rigoureuse.)

(1) Du grec *osmos* : action de pousser, impulsion.

Digitized by Google

Une expérience type, indiquée par Stéphane Leduc [1], consiste à mettre, dans une solution étendue de gélatine, additionnée de ferrocyanure de potassium et d'un autre sel, chlorure, azotate, etc., un granule de sulfate de cuivre et de sucre, pétris ensemble. Le granule s'entoure d'une membrane de ferrocyanure de cuivre, très perméable à l'eau, un peu perméable aux constituants séparés (appelés *ions*), des sels dissous, et non perméable au sucre. L'eau traverse la membrane, la gonfle, et distend ses parois. Par ses pores agrandis, ou par des fissures ainsi provoquées, de nouvelles parties du contenu de la vésicule viennent en contact avec le liquide extérieur, et forment un nouveau précipité membraneux. Le liquide extérieur pénètre derechef, distend, provoque un nouveau précipité, et ainsi de suite; de sorte que la vésicule se dilate et s'accroît, et pousse des prolongements variés, pouvant atteindre jusqu'à 30 ou 40^{cm} de hauteur. Finalement, le résultat se présente comme un assemblage morphologique imprévu, et vraiment inattendu de la part de matières inanimées : un empattement de base, des tiges, et parfois, pour celles-ci, des terminaisons élargies ou globuleuses. Telles sont les *croissances osmotiques* (*fig.* 132 et 133).

Sans modifier les dispositions de l'expérience, si l'on fait varier la matière, soit en changeant la composition des granules, soit en changeant les sels additionnés à la solution, on retrouve, comme plus haut pour les dendrites, une morphologie globale commune, liée aux conditions communes du développement, et des variations morphologiques individuelles (dans le détail des tiges, de leurs terminaisons, etc.), liées aux propriétés individuelles des matières en jeu.

La présence de la gélatine, ou de tout autre colloïde, n'est pas strictement indispensable. Lorsqu'elle est présente, son rôle principal paraît être de gêner mécaniquement l'expansion.

Pour s'en rendre compte, il suffit de laisser une croissance osmotique se développer dans un milieu où l'on fait varier, à divers moments, la teneur en gélatine : chose peu difficile, moyennant quelque précaution, puisque les colloïdes diffusent peu.

Que l'expression « gêner l'expansion », déjà employée pour les

---

[1] *Théorie physico-chimique de la vie. La Biologie synthétique* (Paris, Poinat, 1910-1912).

Digitized by Google

dendrites, ne nous incite pas à comparer trop directement les effets produits dans l'un et l'autre cas : les données sont trop disparates pour que les conséquences apparentes ne le soient aussi.

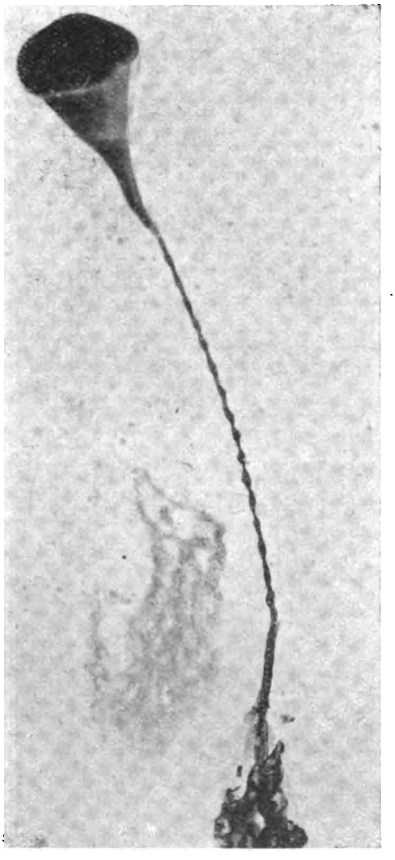


Fig. 132. — Croissance osmotique (Stéphane Leduc).

Stéphane Leduc (1) a noté que les tiges sont d'autant plus droites et plus fines que les solutions où se font les croissances sont plus chargées en gélatine. Au contraire, plus les solutions sont diluées, plus les tiges sont grosses et tordues.

(1) *Les Croissances osmotiques* (Bar-le-Duc, Jolibois, 1909).

Digitized by Google

On peut combiner les deux modes : on laisse la croissance se faire

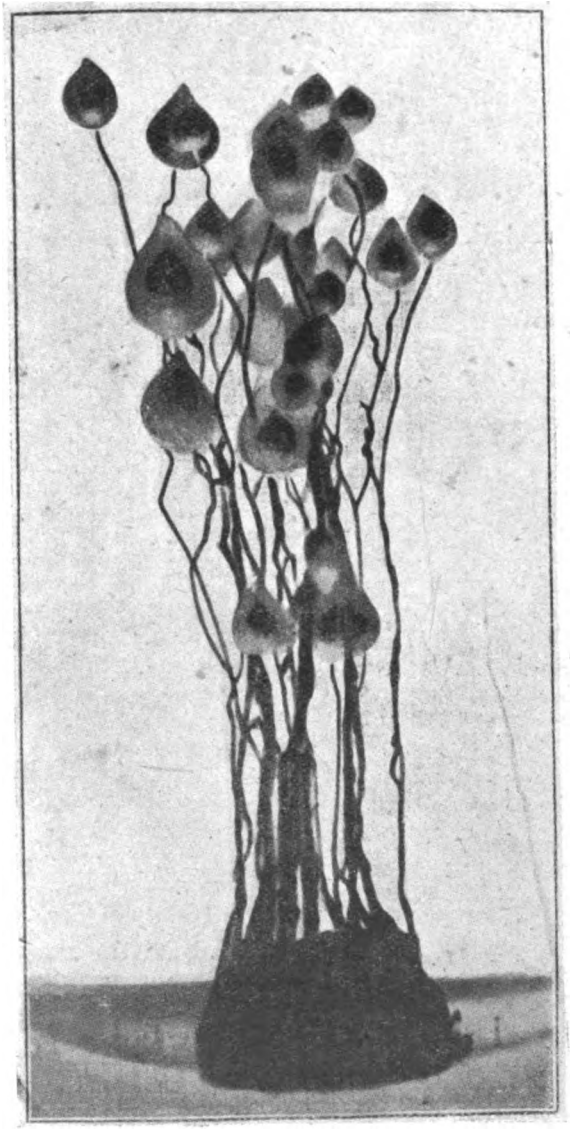


Fig. 133. — Croissance osmotique
(Stéphane Leduc).

d'abord dans un liquide de concentration moyenne, et l'on obtient

Digitized by Google

des tiges allongées. Puis, on ajoute au liquide une solution plus diluée, et elle détermine aussitôt des dilatations, qui engendrent des terminaisons globuleuses, comme dans les figures précédentes (*fig.* 132, 133).

Fig. 134. — Croissance osmotique (Stéphane Leduc).

En prenant, comme départ, une petite masse d'une certaine

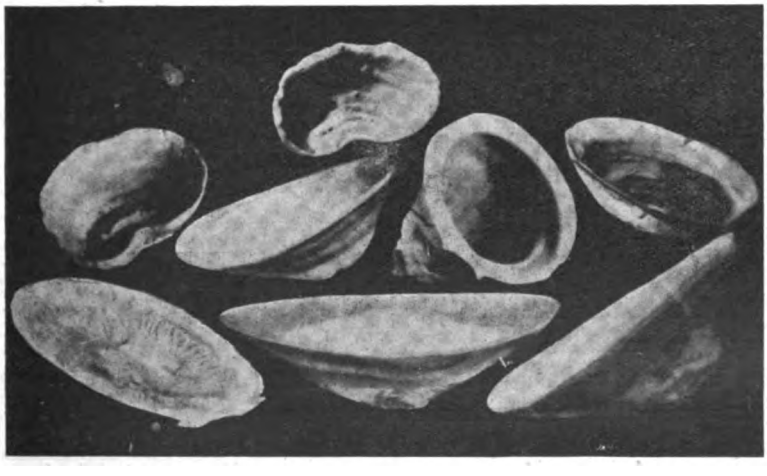


Fig. 135. — Croissances osmotiques (Stéphane Leduc).

étendue, placée dans une solution chargée en gélatine, il vient d'abord une sorte de pilier bien droit. Puis, en ajoutant, avec soin, de

Digitized by Google

l'eau pure, on voit le pilier subir une expansion brusque, et l'ensemble prendre l'apparence curieuse d'une sorte de champignon (*fig.* 134).

Si, dans un récipient assez plat, et assez étendu, la première couche de solution concentrée n'a qu'une faible épaisseur, moins de 1^{cm}, et que le liquide superposé n'est pas de l'eau pure, mais une solution diluée, les croissances rappellent, par leur silhouette. des coquilles (*fig.* 135).

On peut ainsi modifier et presque diriger le développement d'une croissance osmotique, en faisant varier son *milieu*.

Remarque.

Là est le principal intérêt de telles expériences : il n'y a, en effet, *pas* de comparaison à établir entre les édifices, élémentaires, des croissances osmotiques, et ceux, déjà si différenciés, des plantes aquatiques, des champignons, ou des coquilles : un tissu vivant résulte déjà d'un nombre de facteurs très élevé qui ne permettent pas ici de rapprochement.

Si l'on pensait trouver une comparaison à faire, ce serait bien plutôt du côté des organismes constitués par un petit nombre de vésicules simples, ou par un seul globule, ainsi qu'on le verra au paragraphe suivant.

Mais distinguer ces facteurs : tension superficielle, cristallisation, diffusion, osmose, précipité, etc., et expérimenter sur eux isolément est infiniment fécond.

Plus haut, nous avons pu ainsi montrer les relations étroites qui unissent la Forme et la Matière. Ici, il est également précieux de voir s'ébaucher, dans des cas simples, les relations, non moins étroites, de la Forme et du Milieu, déjà indiquées à propos des dendrites.

Pour être partielles, ces analyses morphologiques n'en sont pas moins importantes. Nous allons voir, dans un moment, les très beaux succès obtenus en cheminant dans cette voie.

Un détail de certaines productions osmotiques y conduit tout naturellement [1].

---

[1] Ces deux derniers mots sous-entendent un lien logique dans l'exposé, et non chronologique dans la succession des recherches. La chronologie et la logique *peuvent* être en relation accidentellement, mais non du tout *nécessairement*.

Digitized by Google

Structure de certaines productions osmotiques.

Nous avons vu que la croissance des productions osmotiques est déterminée par la pénétration incessante du liquide ambiant, suivie aussitôt de précipité.

Souvent ce processus est sensiblement continu, et la structure du précipité n'offre rien de très particulier.

Mais souvent aussi, lorsque la membrane formée est peu perméable ou peu extensible, ou l'un et l'autre à la fois, elle ralentit et fractionne l'opération, qui se fait par poussées successives.

Le résultat est une file de vésicules juxtaposées, et si le phénomène, dans son ensemble, est d'allure assez régulière, on obtient des croissances à structure périodique bien nette (*fig.* 136).

Il est extrêmement intéressant, nous le laissions pressentir quelques lignes plus haut, de rapprocher, des productions osmotiques, les productions dues à des organismes unicellulaires.

Celles, notamment, dues aux *Foraminifères :*

Les *F. Astrorhizines* sont constitués par une petite masse de protoplasme, approximativement lenticulaire, poussant des prolongements radiaux irréguliers, et recouverte d'une couche rugueuse de grains de sable agglutinés. Beaucoup d'expansions osmotiques irrégulières y ressemblent de fort près.

Mais la ressemblance, à cause de la disposition rythmée qui arrête le regard, est encore plus caractérisée entre les files de vésicules osmotiques et de nombreuses coques de Foraminifères, constituées, elles aussi, par une succession de nodosités vésiculaires : telles les *Reophax*, les *Hormosina*, *Clavulina*, *Nodosaria*, etc. La figure 137 reproduit (aux mêmes dimensions) la dernière croissance de droite de la figure précédente (136), une coque de *Reophax nodulosa*, et une autre de *Nodosaria filiformis.*

Disposition générale, structure vésiculaire, galbe des contours : le succès de la recherche expérimentale est vraiment très remarquable.

Ce succès est d'autant plus incontestable que, dans les deux cas aussi, la vésiculation périodique est à l'échelle microscopique, ce qui exclut, pour l'expérience, la possibilité de dépendre du gré de l'expé-

Digitized by Google

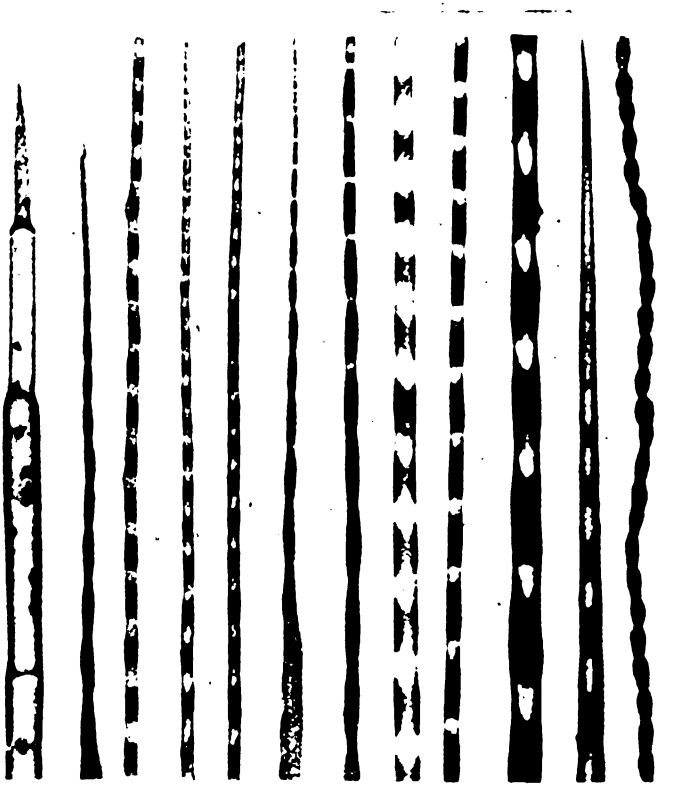


Fig. 136. — Croissances osmotiques microscopiques (Stéphane Leduc).

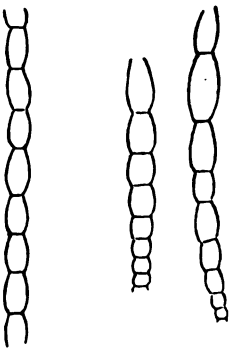


Fig. 137. — Croissance osmotique (à gauche), et deux Foraminifères (*Rheophax* et *Nodosaria*) (à droite).

(S. L.) (Brady.)

Digitized by Google

rimentateur, comme en dépendaient les « croissances » des figures 132 à 135. De plus, la Morphologie synthétique était bien le but général des travaux de Stéphane Leduc, mais, dans le cas actuel, il n'avait pas songé aux Foraminifères : son attention était sollicitée et retenue ailleurs.

Les recherches de Stéphane Leduc n'ont pas eu, toutes, une même fortune. Nous ne sommes peut-être pas, nous-même qui l'apprécions très fort, toujours entièrement d'accord avec lui sur les interprétations qu'on peut donner à ses expériences. Il est d'autant plus nécessaire de dire que ceci est tout à fait indépendant de la valeur intrinsèque des expériences, qui est grande, et de l'admiration qu'on doit à leur auteur.

Nous aurons le plaisir de le retrouver bientôt.

Précipités calcaires organiques (P. Harting).

Les croissances cristallines et les premières croissances osmotiques concernaient une morphologie d'ensemble, macroscopique.

Les précipités à vésiculation périodique conduisent, par une morphologie microscopique, à une morphologie de structure.

Dans cette direction, d'autres acquisitions précieuses ont été faites, dont nous noterons une ou deux des plus significatives.

Lorsqu'en milieu colloïdal varié (albumine, gélatine, etc.), on fait diffuser des sels dont la combinaison donne du carbonate de chaux insoluble, ce dernier apparaît peu à peu, en précipité lent. On pourrait s'attendre, en l'examinant, à y retrouver l'un quelconque des groupements ou arrangements cristallins, si nombreux, que l'on connaît à ce corps. Non point. On y découvre quantité de configurations nouvelles, globules sphéroïdaux, lamelles membraneuses, etc., où dominent les modelés arrondis, et qui, tant dans leur allure générale que dans les accidents légers de leur surface, rappellent, et souvent de très près, les formations calcaires organiques diverses, dues à des êtres vivants.

Dans un Mémoire, qui marque une date dans l'histoire des recherches de Morphologie synthétique (1), P. Harting signale des globules nacrés,

(1) Professeur à l'Université d'Utrecht. Son Mémoire se trouve aux *Verhandelingen der Koninklijke Academie der Wetenschappen, Dertsende Dell* (Amsterdam, Van der Post, 1873).

Digitized by Google

analogues à de petites perles, et d'autres, pareils à ceux des épithéliums de *Trématodes*, de *Cestodes* ou de *Lombrics*. Des formations différentes rappellent les otolithes, concrétions calcaires caractéristiques, qu'on trouve dans les organes de l'ouïe de beaucoup d'animaux. Harting a vu, également, se produire des concrétions irrégulières, toutes semblables aux spicules des *Alcyonaires* (coraux); et aussi des concrétions régulières et rayonnées, qu'il rapproche de celles du derme des *Holothuries*, ou d'autres *Échinodermes*. Des lamelles membraneuses simulent des épithéliums; d'autres ont des stries, comme celles des écailles des poissons *malacoptérygiens* et *acanthoptérygiens*, avec des saillies en forme de petites épines; d'autres sont plissées comme les lames des os de *seiche;* beaucoup ont, moins la forme, la structure des coquilles de *Gastéropodes* ou de *Lamellibranches;* etc.

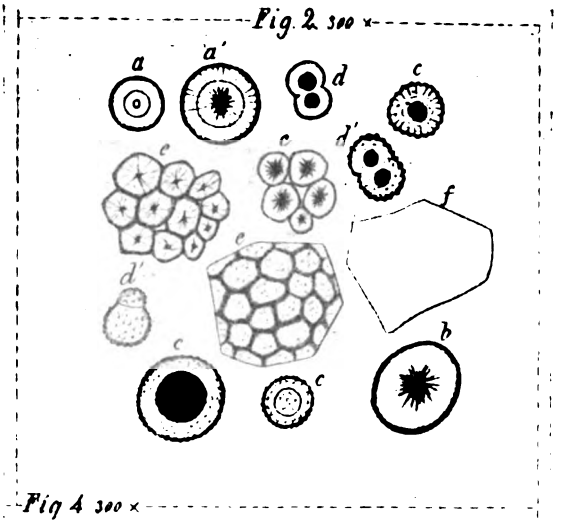


Fig. 138. — Précipités calcaires en milieu colloïdal (P. Harting).

Voici deux exemples de tels précipités : le premier groupe montre des corpuscules ronds, isolés, accolés, ou commençant à constituer une lamelle. Les corpuscules du second groupe ont été choisis surtout à cause des éléments périodiques de leur dessin (*fig.* 138 et 139).

Digitized by Google

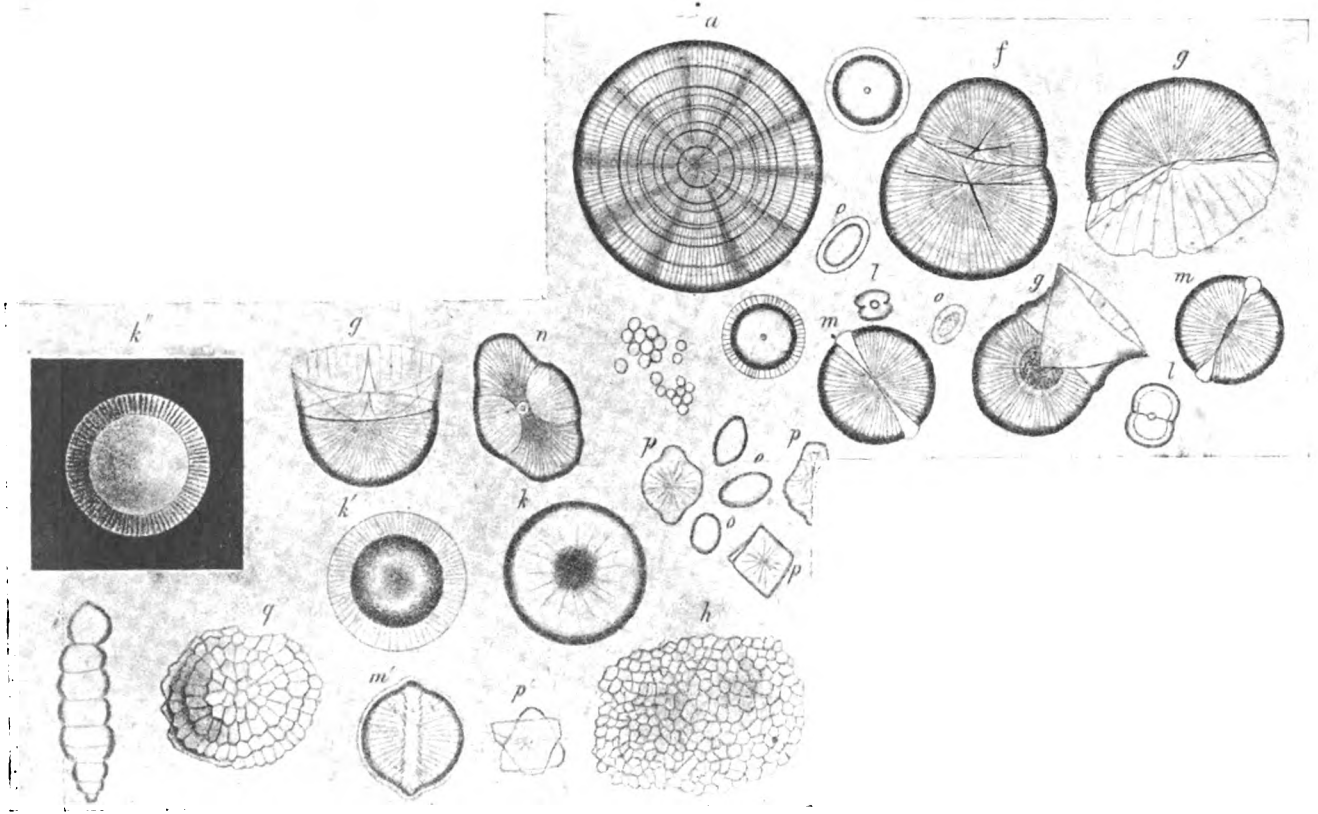


Fig. 139. — Précipités calcaires en milieu colloïdal (P. Harting).

Digitized by Google

Périodicité du dépôt. Autres précipités. (R. E. Liesegang).

Les périodicités les plus simples (car il n'y a pas de limite à la diversité des combinaisons possibles) donnent des précipités rayonnants, ou disposés en zones parallèles contiguës. Il n'y a pas toujours, ni forcément, identité stricte dans la répétition d'un élément donné, Ses dimensions et la fréquence de sa répétition peuvent croître ou décroître suivant une loi définie, comme des ondes qui s'amortissent, sans que l'on cesse, pour cela, de parler de *périodicité*, ou tout au moins de *pseudo-périodicité*.

Même aussi simple, une telle régularité dans l'arrangement morphologique doit déjà retenir l'attention, parce que (en mettant à part les formations cristallines), les symétries et les répétitions périodiques sont si fréquentes chez les êtres vivants, que l'on serait peut-être tenté d'y voir quelque chose de caractéristique à eux. Il n'en est rien, et, précisément, l'étude de tels phénomènes, en physique moléculaire, donne l'espoir d'arriver, un jour, à préciser quels facteurs jouent dans le déterminisme de ces dispositions, chez les animaux et les plantes.

Les formes rayonnées ou régulièrement striées abondent dans les précipités de Harting, mais leur genèse ne semble pas dépendre directement d'une diffusion cristalloïde en milieu colloïdal, car Tomlinson avait déjà noté précédemment des apparences de même espèce, au cours de diffusions très diverses [1] (*fig.* 140).

Si le mécanisme de ces périodicités est, je crois, mal connu, la présence d'un colloïde a du moins l'avantage certain de ralentir les échanges, et souvent aussi de les fixer. R. E. Liesegang s'en est beaucoup servi et ses travaux ont abouti à des résultats fort précieux.

En faisant diffuser de l'azotate d'argent dans de la gélatine bichromatée, on obtient des précipités périodiques de bichromate d'argent, qui font penser aux zones parallèles de certaines agates œillées. La figure 141 réunit une préparation et une agate.

Les analogies entre elles deux ne sont d'ailleurs pas étroites. La préparation avait été faite plusieurs années avant qu'eût été trouvée

---

[1] *Phil. Mag.*, 4e série, vol. 28.

Digitized by Google

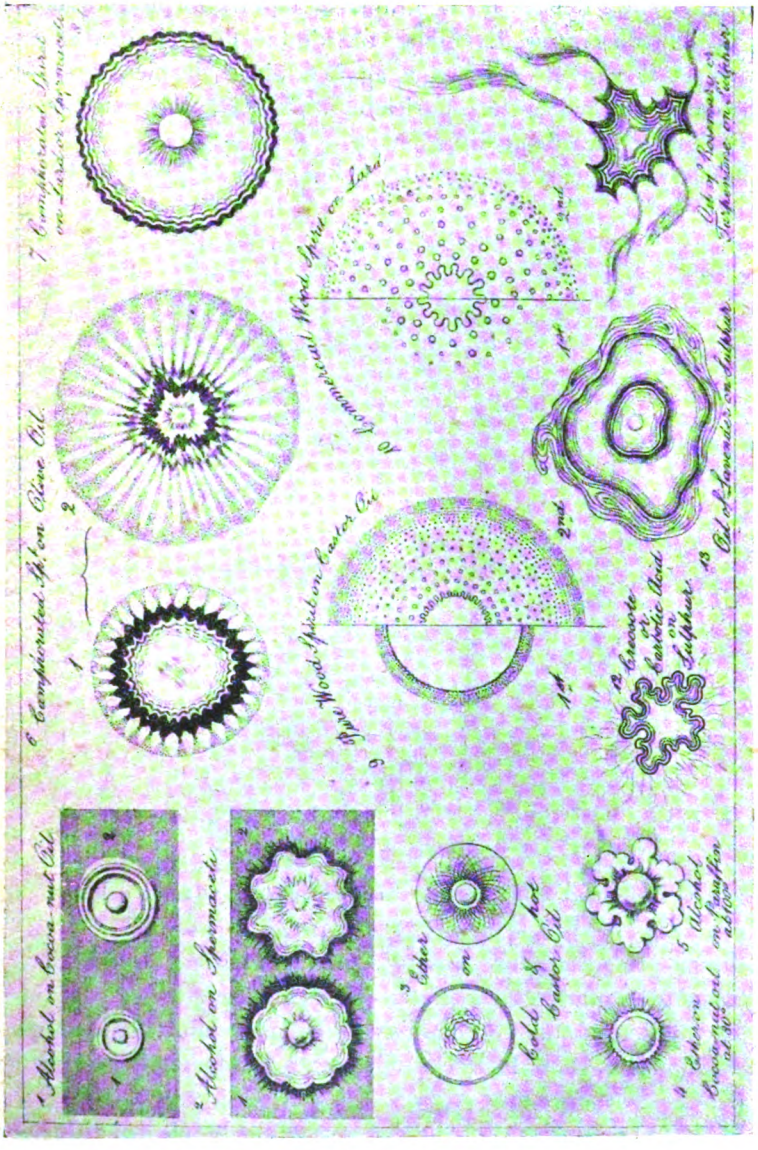


Fig. 100. — Figures de diffusion (Tomlinson).

Digitized by Google

la pierre, et ne prétendait suivre aucun modèle naturel. Mais il est facile de se rapprocher des complications ordinaires des agates, en constituant, pour départ de la diffusion, des *traits* plus ou moins épais, au lieu de *centres*. La figure 142 donne deux indications de ce genre, et il y a été joint une agate arrivée dernièrement, du Brésil, dans une collection parisienne (*fig.* 143), inconnue, également, à l'auteur des deux diffusions.

De telles remarques ont été, pour Liesegang, le point de départ

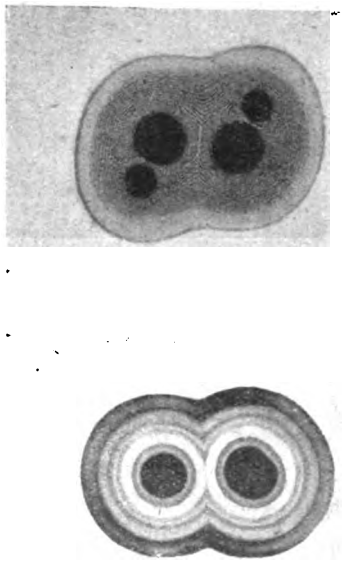


Fig. 141. — Bichromate d'argent en milieu colloïdal; et agate œillée.

d'une longue et minutieuse analyse, où il a étudié tous les divers types d'agate connus, et pu mettre en évidence qu'elles sont bien des gels colloïdaux, comme nous l'avons dit plus haut. Sa monographie des Agates est une belle contribution à la Morphologie synthétique (1).

On lui doit aussi une autre série de travaux sur le rôle des diffusions

(1) *Die Achaten* (Dresden u. Leipzig, Th. Steinkopff, 1915).

Digitized by Google

en Géologie, la formation des gîtes et des dépôts minéraux, sur les diverses concrétions (1); et, d'autre part, en liaison avec cette direction de recherches, des données nouvelles sur l'ossification, sur la

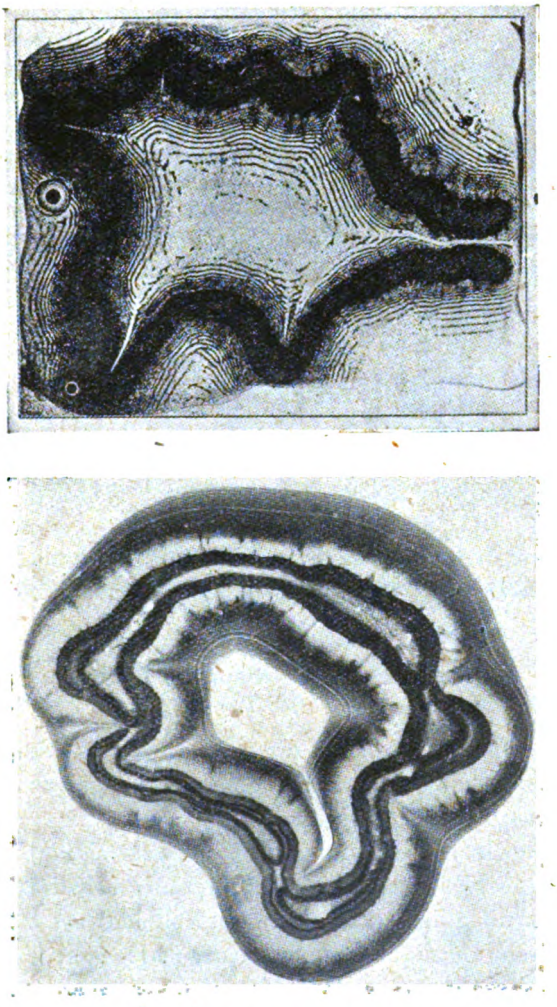


Fig. 142. — Précipités périodiques
(en haut : R. E. Liesegang; en bas : C. Desch).

structure des os, le développement des os creux, et sur les deux

(1) *Geologische Diffusionen* (Dresden u. Leipzig, Th. Steinkopff, 1913).

Digitized by Google

maladies à localisation osseuse. l'ostéomalacie et le rachitisme (1).

De tels résultats, en dehors de leur importance pratique, ont un grand intérêt philosophique : on a déjà pressenti qu'il existe un « passage » continu de la matière inanimée à la matière vivante.

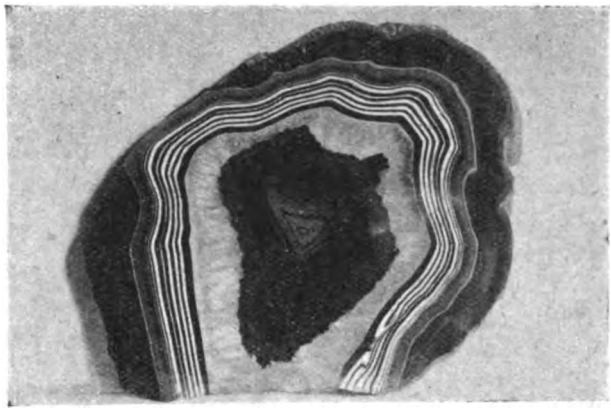


Fig. 143. — Agate.

La synthèse de la nacre et de la perle, par Stéphane Leduc, nous y achemine aussi.

Nacre et Perle (Stéphane Leduc).

Stéphane Leduc a obtenu d'autres précipités périodiques avec un grand nombre de substances diverses, et par eux s'est trouvé conduit à la synthèse en question.

On sait que la nacre et la perle n'ont pas, si l'on peut dire, de couleur propre. Elles sont des productions calcaires périodiques, effectuées en un milieu dont l'élément colloïdal est la conchyoline. La composition chimique et la structure striée sont les mêmes pour les deux substances. La seule différence entre elles est due au degré de la striation, plus serrée pour la perle, et qui détermine leurs couleurs respectives. La physique enseigne, en effet, et démontre

(1) *Beiträge z. e. Kolloïdchemie d. Lebens* (Dresden u. Leipzig, Th. Steinkopff, 1909).

Digitized by Google

que toute striation dont la finesse atteint l'ordre du micron (ou millième de millimètre) présente le phénomène optique des *réseaux optiques :* un faisceau de lumière blanche, tombant sur un tel réseau, est « dispersé » et donne, par réflexion, un spectre coloré, tout comme s'il avait traversé un prisme de verre : telles sont les couleurs de la nacre et de la perle. Harting avait bien aperçu des irisations sur certains de ses globules calcaires. Mais les globules étaient microscopiques, et leur production n'était pas réglée. Stéphane Leduc produit, à volonté, des réseaux optiques, dont l'étendue est de l'ordre du décimètre, en faisant diffuser, dans de la gélatine contenant un peu d'azotate de calcium, des sels de potassium et de sodium. Le calcaire formé se précipite en dépôt périodique, d'écartement voulu, et l'on peut en varier les irisations à son gré, depuis la vivacité des « feux » de la nacre jusqu'à ceux, chatoyants et adoucis, de la perle. Ainsi, avec de la gélatine au lieu de conchyoline, Stéphane Leduc a réalisé la synthèse d'une structure constituée par des organismes vivants.

A tous points de vue, l'expérience est remarquable.

41. — LE « PASSAGE » A LA MATIÈRE VIVANTE.

Dans la matière vivante, les formations périodiques ou pseudo-périodiques de tout genre abondent, depuis les dépôts très durs jusqu'aux tissus les plus souples.

La pigmentation des piquants du porc-épic est en zones de l'ordre du centimètre, et l'on retrouve des figures de diffusion dans la pigmentation d'autres pelages, de plumages, ou dans celle de beaucoup de coquilles.

En ce qui concerne, non plus la pigmentation, mais les réseaux optiques, la présence de ces derniers explique l'éclat des élytres de beaucoup de coléoptères, des écailles de beaucoup de poissons, de plumes de beaucoup d'oiseaux, etc.

Les tissus désignés là sont des excreta. Mais les structures périodiques se trouvent tout autant dans les tissus activement vivants : tendons, aponévroses, muscles, nerfs, cornée, cristallin, etc.

Toutes ces périodicités qui sont des éléments de la structure des vivants n'ont rien de spécifique à la vie, mais sont directement liées

Digitized by Google

aux phénomènes de diffusion et d'osmose en milieu colloïdal, et justiciables de leur étude. Et ceci est un exemple de ce que nous entendions par : *la discrimination des facteurs qui jouent dans l'enchevêtrement compliqué des réactions de la matière vivante.*

L'analyse a été plus loin. La dynamique de la cellule, elle-même, et celle du développement de l'embryon ont été abordées. Stéphane Leduc a montré l'analogie profonde entre les figures de diffusion et certaines phases de la vie de la cellule, Houssay a ébauché l'explication de la mitose, et il faut y adjoindre les expériences de Wilhelm Roux sur la segmentation des gouttes d'huile (1), et une note récente de E. Hérouard, sur le tétraèdre dit « morphogénique » et le rôle des colloïdes dans sa formation (2).

Traube, Tammann, Butschli, Quincke, O. Lehmann ont même tenté de rendre compte de constructions plus avancées; etc.

Nous n'avons aucunement l'intention d'être complet, mais seulement d'indiquer certaines recherches entreprises, et la direction éventuelle de celles à venir.

Tous ces travaux, en y comprenant ceux exposés jusqu'ici, montrent d'abord que les colloïdes occupent une situation particulière, sorte de nœud ou de carrefour : de la physique des cristalloïdes à la leur, il y a un chemin; des colloïdes à la pétrographie et à la géologie, il y a aussi un chemin; il y en a un autre, allant des colloïdes aux excreta et aux tissus, dits de déchet, de la matière vivante (squelettes, etc.); et un autre encore mène aux tissus vivants actifs.

Il ressort ensuite, de là, plus spécialement, que, parmi les réactions morphologiques de la matière vivante, il en est, dont chaque jour qui passe accroît le nombre connu, qui appartiennent en même temps à la matière non vivante.

Mais cette qualité n'est point particulière aux seules réactions morphologiques.

L'étude des colloïdes, dans leur ensemble, c'est-à-dire en dehors du point de vue morphologique proprement dit, réserve bien d'autres surprises.

Leur stabilité n'est qu'apparente. Ils évoluent. Leur évolution, lente ou rapide, est en général irréversible, comme celle de la matière

(1) *Arch. Ent. mech.*, 1897.
(2) *Bull. Soc. zool*, 1922.

Digitized by Google

vivante; et va, de la structure en granules tous séparés, à la floculation, ou précipité en amas, qui abolit cette structure. Parallèlement, les réactions, dans leur allure, témoignent de jeunesse, de maturation, de sénescence, de mort.

Il est des colloïdes (1) qui, par temps d'orage, « tournent » comme le lait. Comme les ferments vivants, les colloïdes permettent des catalyses, c'est-à-dire, à la température ordinaire, ou à une température peu élevée, et sous la pression atmosphérique habituelle, des réactions, souvent compliquées, où les énergies de surface jouent un rôle beaucoup plus considérable que les effets de masse. Les propriétés des colloïdes sont supprimées par les anesthésiques, profondément altérées par une trace de poison. L'adsorption, chez les colloïdes, fait penser à la fixation des toxines par les tissus vivants; et, en général, il y a des propriétés électives, pour les uns comme pour les autres. En Chimie ordinaire, les réactions ne dépendent, à chaque instant, que de l'état présent, et non des réactions passées. Les réactions de la matière vivante, au contraire, sont étroitement influencées par les actions antérieurement subies. Il en est de même pour les colloïdes non vivants : pour une même substance parvenue à l'état colloïdal, des différences dans les procédés de préparation modifient profondément ses propriétés : tout, en elle, laisse une trace. Enfin, chez les colloïdes, on retrouve, dans les mêmes circonstances que pour la matière vivante, les variations dans l'intensité des réactions, dans leur vitesse, l'influence d'une température optima, etc.

On voit à quel point les liens avec la matière vivante, déjà indiqués par la Morphologie, sont accrus et accentués.

Mais l'essentiel de ces propriétés n'est pas plus l'apanage exclusif de la matière vivante que des colloïdes non vivants.

Le grand savant hindou Jagadis Chunder Bose a étudié les phénomènes de réaction dans ce qu'ils ont de plus général.

Il a imaginé des procédés d'exploration, d'une délicatesse inconnue avant lui, et dont les résultats s'enregistrent automatiquement. Il a étudié, par leur moyen, les effets dus à l'application d'un

---

(1) Ici, et dans ce qui suit, le terme de *colloïde* tout court, sous-entend : « constitué par un substratum n'appartenant *pas* à une matière vivante », pour les comparer efficacement aux colloïdes vivants proprement dits, ou produits par une matière vivante.

Digitized by Google

excitant varié, répété; l'uniformité, l'activation et l'exaltation des réactions; les phénomènes de contraste, de renversement, de tension, de fatigue, de distorsion temporaire ou définitive; les conditions de la mémoire élémentaire, où la modification, due à un excitant, s'efface en apparence, puis surgit à nouveau; l'influence de la chaleur, des agents chimiques, de la lumière, etc. (1).

Les expériences ont été menées en partie triple : tissus animaux, isolés ou non; tissus végétaux, isolés ou non; et métaux à l'état ordinaire. Rien de plus saisissant, par exemple, que de comparer, dans les mêmes conditions, les réactions d'un nerf, d'un muscle, d'une tige, d'un métal, et de voir les appareils enregistrer, pour les quatre sujets, avec les minimes différences individuelles propres à chaque matière, un diagramme de même forme.

Car cette longue et minutieuse recherche a établi que tous les éléments essentiels des réactions se retrouvent aussi bien dans les métaux que dans les tissus végétaux, et aussi bien dans ceux-ci que dans les tissus animaux. Et elle conduit son auteur à cette conclusion, d'une valeur exceptionnelle, que les données caractéristiques de ces phénomènes sont liées à une réaction fondamentale, propriété *générale* de toute matière : une distorsion ou déformation moléculaire, conséquence de toute action incidente.

La Forme se présente donc comme la résultante de modifications physiques élémentaires, et elle n'est, parmi beaucoup, que *l'une des réactions de la Matière.*

Pouvoir énoncer ce résultat est très remarquable.

Depuis les transformations de figures, les dendrites, la nacre et jusqu'aux anamorphoses de la vision, *tous* les groupes de Formes rencontrés possédaient, d'une part, des éléments morphologiques communs, liés à un facteur d'action du dehors et le révélant, et

(1) Plusieurs milliers de diagrammes ont été enregistrés. Le premier Mémoire est de 1900, le dernier Livre de 1927 : *Réactions de la Matière vivante et non vivante* (Paris, Gauthier-Villars, 1926); *Plant response* (Calcutta, Longmans Green, 1907); *Électrophysiologie comparée* (Paris, Gauthier-Villars, 1926); *Researches of the irritability of plants. Life Movements of plants* (Calcutta, Longmans Green, 1913, 1918, 1919 1920, 1921); *Physiologie de l'ascension de la sève. Physiologie de la photosynthèse* (Paris, Gauthier-Villars, 1926); *Le mécanisme nerveux des plantes* (Paris, Gauthier-Villars, 1928). D'autres Ouvrages sont annoncés.

Digitized by Google

d'autre part des éléments morphologiques individuels, liés à la nature particulière des matières en cause, et la révélant. Puis, nous saisissions, peu à peu, divers « passages » de la matière inanimée à la matière vivante.

Mais une incertitude eût pu rester dans l'esprit, si de telles données s'étaient montrées particulières et spéciales aux Formes seules, si les Formes, dans leur manière d'être générale, se séparaient des réactions de la Matière.

L'œuvre de Bose montre qu'il n'en est rien. Le monde vivant et le monde non vivant, tout entiers, à côté d'*éléments réactionnels particuliers*, propres aux matières en jeu, se révèlent comme possédant des *éléments réactionnels communs*, constituant autant de « passages » de l'un à l'autre, et qui sont l'expression d'une loi très générale, pour l'un comme pour l'autre.

FIN DU TOME I.

Digitized by Google

NOTE.

Une référence bibliographique s'est trouvée omise, par accident, au Tome I. Il s'agit des figures 41, 42, 57, 60, 79, de Haeckel, parues dans son ouvrage *Kunstformen der Natur*, par les soins du Bibliographisches Institut, de Leipzig. Je dois à la bonne grâce des éditeurs de cet Institut d'avoir pu reproduire ici les figures en question, et je leur en adresse tous mes mercis.

Je remercie de même MM. Hackin, conservateur du Musée Guimet; d'Arcy W. Thompson; et Clay, administrateur de la Cambridge University Press; Emile Picard (Cabinet du département des Sciences mathématiques, à la Sorbonne); Alfred Lacroix; Salomon Reinach, conservateur du Musée de Saint-Germain; Morin, naturaliste; Gerhard Heilmann; W. A. Bentley et la Monthly Weather Review; Vittorio Sella; Emile Gos; Stephane Leduc; les éditeurs Longmans et Green; Raphael Liesegang; etc.; à l'amabilité de qui je dois les illustrations correspondantes du Tome I.

J'exprime toute ma reconnaissance à M^me^ M. Burnat-Provins, et à MM. Jaime Otero, Michel Dubost, André de Skezely, P. Jan-Joulin, Gyula Zilzer, Paul Helbronner, Etienne Houvet, pour les figures qui illustrent le Tome II.

Ed. M-H.

ERRATUM.

Tome I, page 117, ligne 12, *au lieu de :* « développées de cette même section droite », *lire :* « développées d'une développante de cette même section droite ».

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

AVANT-PROPOS IX

CHAPITRE I.

FORMES DÉFINIES.

1. *Morphologie* 1
2. *Formes définissables* 1
3. *Droite. Plan. Cercle. Sphère. Etc. Formes régulières* 2

Remarque 7

4. *Formes semi-régulières* 7
5. *Courbures* 9
6. *Cycloïdes. Cycloïde à rebroussements, à inflexions, à points doubles* 10

Houle et vagues, en mer 12

7. *Épicycloïdes. Hypocycloïdes. Rosaces* 13
8. *Roulettes* 14

Remarque 14

9. *Sinusoïde* 14

Remarque 15

10. *Sinusoïde, cycloïde et hélice circulaire* 15

Perspectives ou projections. Ellipse 15

11. *Transformations de figures. Exemple* 16

Autre exemple de transformation 18

12. *Éléments d'une forme* 20
13. *Les deux éléments principaux d'une morphologie* 22

Champ et validité de la discrimination précédente 24

14. *Paraboles* 27
15. *Formes semblables* 27
16. *Hyperboles* 28
17. *Chaînettes* 29
18. *Élastiques* 31

Digitized by Google

Pages.

19. *Formes d'équilibre des liquides* 33

Surfaces à courbure moyenne constante, et surfaces minima 34

20. *Surfaces minima, et CMC, de révolution* 35

Onduloïdes 37
Caténoïde 38
Nodoïdes 39
Remarque 41
Exemples 42
Remarque 44
Exemples (*suite*) 45

21. *Hélicoïdes associés aux surfaces CMC, et minima, de révolution* 48
22. *Surfaces applicables* 49
23. *Surfaces parallèles* 50

Surfaces à courbure totale constante 50

24. *Surfaces à courbure totale constante, de révolution* 51

Exemple 53

25. *Hélicoïdes associés aux surfaces à courbure totale constante, de révolution.* 56
26. *Courbes spirales* 57

Spirale d'Archimède 57
Spirale de Cornu, ou Clothoïde 58
Spirale logarithmique 58
Remarque 61

27. *Surfaces spirales* 61

Surfaces spirales à enroulement plan 62
Surfaces spirales à enroulement hélicoïdal 65
Autres exemples de surfaces spirales 66

28. *Tourbillons* 70

Tourbillons de rivière 71
Autres tourbillons 74
Deux exemples de tourbillons en morphologie animale 80
Méduses 81
Poissons 85

CHAPITRE II.

FAMILLES DE FORMES ET FORMES ASSOCIÉES.

29. *Lignes tracées sur une surface* 87

Lignes de courbure 88
Lignes géodésiques. Exemples 89

Digitized by Google

Pages.

30. *Autres familles de courbes. Pressions et Tensions* 99
Remarques 105, 106
31. *Formes associées* 108
Enveloppes 108
Développées 111
Remarque 113
Développantes 115
Cas de l'hélice-spirale 117
Remarques 121
32. *Divers réseaux plans et Transformations de figures* 124
Réseaux 125
Exemples 126
33. *Interpolation graphique et Réseaux interpolés* 133
34. *Remarques* 141

CHAPITRE III.

FORME ET FONCTIONNEMENT.

35. *Forme et Fonction* 146
36. *Définitions* 149

CHAPITRE IV.

DES CRISTAUX A LA MATIÈRE VIVANTE.

37. *Cristaux* 152
38. *Cristalloïdes en milieu colloïdal* 159
39 *Remarque* 166
Les deux éléments principaux d'une morphologie 166
40. *Précipités variés, en milieu colloïdal* 178
Productions ou « croissances » osmotiques 180
Remarque 186
Structure de certaines productions osmotiques 187
Précipités calcaires organiques (P. Harting) 189
Périodicité du dépôt. Autres précipités (R. E. Liesegang) 192
Nacre et Perle (Stéphane Leduc) 196
41. *Le « passage » à la matière vivante* 197

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES FIGURES.

Fig.		Pages.
1.	Spicule d'Éponge siliceuse (*Hyalonema tenue*)	2
2.	Squelette de radiolaire (*Trissocyclus sphæridium*)	3
3.	Squelette de radiolaire (*Hexastylus triaxonius*)	3
4.	Squelette de radiolaire (*Circoporus octahedrus*)	4
5.	Squelette de radiolaire (*Circorrhegma dodecahedra*)	4
6.	Squelette de radiolaire (*Circogonia icosahedra*)	5
7.	Perspective et plan de la disposition des axes des spicules chez les radiolaires Acanthaires	6
8.	Squelette de radiolaire acanthaire (*Cannocapsa stethoscopicum*)	6
9.	Schéma du squelette d'un radiolaire (*Doratáspis*)	8
10.	Pièce du squelette du radiolaire *Sethoformis rotula*	8
11.	Cycloïde ordinaire, à rebroussements	10
12.	Cycloïde à inflexions, ou trochoïde	11
13.	Cycloïde à points doubles	12
14.	Houle en mer (Profil des surfaces d'égale pression)	12
15.	Sinusoïde	14
16.	Seau ordinaire, fendu et développé	17
17.		19
18.		19
19.	Six transformées de la figure 17	20
20.	Un « élément » de la figure 17	21
21.	Un autre « élément » de la figure 17	21
22.	Points remarquables, et arcs compris	22
23.	Autre transformée de la figure 17	25
24.		25
25.	Hyperbole (Lampe approchée d'un mur)	28
26.	Autre hyperbole (Mur de l'École des Mines, Paris)	28
27.	Chaînette	29
28.	Prêtre bouddhiste japonais. Bois peint du XVIII^e^ siècle (Musée Guimet, Paris)	30
29.	Divers cas de la courbe élastique	31
30.		32
31.	Goutte aplatie	32
32.	Sections verticales, schématiques, de divers Oursins	33
33.	Sections méridiennes d'Onduloïdes	36

Digitized by Google

Fig.		Pages.
34.	Segment d'Onduloïde (plâtre)	37
35.	Caténoïde minimum (Section méridienne)	38
36.	Segment de Caténoïde minimum (plâtre)	38
37.	Sections méridiennes de Nodoïdes	39
38.	Segment de Nodoïde (plâtre)	40
39.	Dessin de segment de Nodoïde, montrant le bourrelet intérieur	41
40.	Vorticelle en état d'extension, puis contracté	43
41.	Polype (*Hypanthea hemisphærica*)	44
42.	Éponge calcaire (*Ascilla gracilis*)	46
43.	Gouttes de lave (Hawaï)	47
44.	Silhouettes de Foraminifères monothalames	47
45.	*Trichodina pediculus* (schéma)	48
46.	Surface à courbure totale constante	51
47.	Cinquième stade de la segmentation d'un œuf d'Amphioxus. Segmentation mécanique d'une goutte d'huile	51
48.	Segments de surfaces à courbure totale constante, et de révolution. A courbure positive. A courbure négative	52
49.	Segments de surfaces à courbure totale constante négative, de révolution (plâtre)	54
50.	Deux verreries antiques, du Musée de Saint-Germain. Comparaison avec l'une des surfaces CTC, de révolution	55
51.	Segment d'hélicoïde tractrice (plâtre)	56
52.	Paon faisant la roue	57
53.	Double faisceau de spirales, passant par les yeux de la roue du paon.	58
54.	Spirale de Cornu, ou Clothoïde	59
55.	Spirale logarithmique	59
56.	Section d'un Nautile, par son plan de symétrie	62
57.	Ammonites fossiles	63
58.		64
59.		65
60.	Coquilles de Mollusques Gastéropodes	67
61.	Surface spirale engendrée par une famille de cercles	68
62.	Surface spirale enveloppe d'une famille de sphères	68
63.		69
64.	Tête de ruminant	69
65.		72
66.		72
67.	Tourbillon de rivière (Trajectoire d'une particule dans un cas simple).	73
68.	Gouttes déformées par des tourbillons	74
69.	Gouttes et tourbillons	75
70.	Gouttes et tourbillons	75
71.	Tourbillons	78
72.	Tourbillons	79
73.	Tourbillon	79
74.	Tourbillon déformé par un obstacle plan	80

Digitized by Google

Fig. Pages.
75. Profils d'ombrelles de Méduses ... 82
76. Profils d'ombrelles de Méduses ... 82
77. Profils d'ombrelles de Méduses ... 83
78. Profils d'ombrelles de Méduses ... 83
79. *Polycanna germanica* ... 84
80. Vannerie japonaise ... 90
81. Vorticelle en état d'extension ... 98
82. Lignes-enveloppes des pressions et des tensions dans la section longitudinale d'une poutre chargée ... 100
83. Section d'une tête de fémur, et schéma de la structure ... 101
84. Section d'un calcaneum, et schéma de la structure ... 102
85. Enveloppe d'une famille de droites ... 109
86. Autre famille de droites; son enveloppe, et la trajectoire d'un point. 110
87. Famille d'ellipses, trajectoires des divers points d'une droite mobile. 110
88. L'une des ellipses de la famille précédente est un cercle ... 111
89. Ellipse et sa développée ... 112
90. Dynamique de la mitose (Fuseau achromatique ayant la forme d'une surface de révolution, dont la méridienne est une développée d'ellipse) ... 114
91 Tracé d'une développante de cercle ... 116
92. Développante de cercle ... 116
93. Hélice-spirale ... 118
94. Coquille de *Pyrula pugilina* ... 119
95. Coquille de *Fusus longicauda* ... 120
96. Développantes planes des hélices-spirales, lignes de suture respectives de *Pyrula pugilina* et de *Fusus longicauda* (spirales logarithmiques). 120
97. Coquille de *Fusus longicauda* et son hélice-spirale géodésique ... 123
98. Diagramme (changé d'échelle) du profil du terrain de Villeneuve-Saint-Georges à Juvisy ... 127
99. Canons de bœuf, de mouton et de girafe ... 128
100. Tapir. Orteil médian et son voisin ... 128
101. Deux Copépodes (*Oithona* et *Sapphirina*) ... 129
102. Carapaces de divers crabes ... 130
103. Trois épaules (Caucasien, Nègre, Indien du Kentucky) ... 131
104. Trois crânes (Homme, Chimpanzé, Babouin) ... 132
105. Crânes de *Eohippus* et de Cheval actuel, mis en réseau ... 136
106. Interpolation de six réseaux entre les deux précédents ... 137
107 et 108'. Interpolation de l'*Eohippus* au Cheval actuel ... 138 et 139
109. Interpolation de l'*Ornithosuchus* à l'*Archæopteryx*, par le *Proavis* (membre antérieur) ... 140
110. Disposition des fils, dans un cocon de Ver à soie, et courbe élastique. 148
111. Section transversale de larve (*Trochophore*) ... 148
112. Cristaux de neige ... 153
113. Cristaux de neige ... 154
114. Neige déposée au haut d'une grille (Modane) ... 155

Digitized by Google

Fig. Pages.
115. Col de l'Alphubel 156
116. Col du Théodule 157
117. Cervin. Arête de Z'Mutt 158
118. Dendrites d'oxyde de fer et de manganèse, dans de l'agate 160
119. Dendrites d'oxyde de fer et de manganèse, dans de l'agate 161
120. Dendrites de chlorure de sodium, en milieu colloïdal 162
121. Dendrites d'hyposulfite de sodium, en milieu colloïdal 163
122. Dendrites de sulfate de manganèse, en milieu colloïdal 163
123. Dendrites d'argent électrolytique 164
124. Décharge électrique 165
125. Décharge électrique 165
126 et 127. Éclaboussures. Sphère rugueuse tombant dans de l'eau teintée de lait ..... 168 et 169
128. Éclaboussure permanente provoquée par un obus dans une plaque de blindage 170
129. Modelés du sable dans le désert 173
130. Nuée ardente, descendant de la Montagne Pelée, à la Martinique 174
131. Monstrance en argent (Musée de Bâle) 177
132. Croissance osmotique 183
133. Croissance osmotique 184
134. Croissance osmotique 185
135. Croissances osmotiques 185
136. Croissances osmotiques 188
137. Croissance osmotique, et Foraminifères (*Rheophax* et *Nodosaria*) 188
138. Précipités calcaires en milieu colloïdal 190
139. Précipités calcaires en milieu colloïdal 191
140. Figures de diffusion 193
141. Bichromate d'argent en milieu colloïdal, et agate œillée 194
142. Précipités périodiques 195
143. Agate 196

Digitized by Google

PRINCIPES

DE

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

TOME II

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET Cie
79401-27 Quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

SCIENCE ET ESTHÉTIQUE

PRINCIPES

DE

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

PAR

Édouard MONOD-HERZEN

LICENCIÉ ÈS SCIENCES
ARTISTE DÉCORATEUR
BIBLIOTHÉCAIRE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES ARTS DÉCORATIFS

TOME II

MATIÈRE VIVANTE. MORPHOLOGIE HUMAINE.
ESTHÉTIQUE.

PARIS
GAUTHIER-VILLARS ET Cie, ÉDITEURS
LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55

1927

Digitized by Google

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés
pour tous pays.

Digitized by Google

PRINCIPES

DE

MORPHOLOGIE GÉNÉRALE

CHAPITRE V.

MATIÈRE VIVANTE.

42. — MATIÈRE VIVANTE.

La forme d'un *être vivant* résulte donc des réactions d'une *matière particulière* aux prises, pendant une certaine *durée*, avec un *milieu*.

Par *matière particulière*, il faut entendre un assemblage complexe de colloïdes et de cristalloïdes, et par *milieu* toutes les actions du Cosmos sur lui : solides, colloïdes, liquides, gaz, pressions, tensions, rayonnements, etc. (1).

Cet énoncé fait prévoir les approximations ou étapes successives de l'étude de la Morphologie des êtres vivants.

On néglige d'abord le milieu et le temps, pour ne s'occuper que des configurations de la *matière*. Par une opération fictive, celle-ci est supposée isolée et fixée, et comme en équilibre. On décrit et l'on classe, et l'on fait de la Morphologie descriptive ou *statique* (2).

On envisage ensuite le *temps*, et l'on considère la succession continue des formes, la série et l'ensemble de leurs modifications et de leurs liens; en un mot, de leur évolution. Cette seconde étape est la Morphologie évolutive ou *cinématique* (3).

(1) *Cf.* t. I, Définitions, Chap. III, § 36, p. 149.

(2) Du latin, *stare* : rester.

(3) Du grec, *kinesis* : mouvement; et par extension : changement.

Digitized by Google

Enfin, il reste à considérer le *milieu*, afin d'expliquer, si l'on peut. Et l'on est en présence des deux problèmes suivants :

Un facteur d'action étant donné, quelles modifications provoque-t-il ?

Une modification étant donnée, à quoi est-elle due ?

En cela consiste, schématiquement, la troisième et dernière étape, la Morphologie explicative, ou *dynamique* (1).

Ces trois étapes ont l'air de correspondre assez bien (schématiquement, toujours) au modèle logique et seul valable grâce à quoi on étudie, en Mathématique, une fonction de plusieurs variables. On se garde bien de les faire varier toutes à la fois, ni même deux d'entre elles ensemble, car on ne verrait plus rien. On laisse constantes toutes les variables sauf une, et l'on examine ce que devient la fonction lorsque varie cette dernière. On a ainsi un premier groupe de données. On agit de même pour chacune des variables, et l'on obtient autant de groupes de données. De leur réunion convenable, ou synthèse, se dégagent l'allure et la physionomie de la fonction.

Dans la nature, la mise en pratique de ce principe rencontre parfois d'énormes difficultés. Le cas actuel, et plus encore le Chapitre suivant, donnent une idée des complications qui peuvent survenir lorsqu'on passe du domaine mathématique et mécanique au domaine physique. Il ne s'ensuit nullement, d'ailleurs, qu'il faille changer de méthode. Mais on ne pourra jamais être trop attentif.

Sous ce vocable unique de *Milieu* se trouve, d'abord, en effet, non pas une, mais un très grand nombre de variables. S'il paraît assez aisé d'isoler l'action de certaines d'entre elles, puis de les faire passer par telles valeurs que l'on voudra (ou que l'on pourra), on ne sait pas toujours jusqu'à quel point, pendant ce temps, l'influence des autres est annulée. On le sait d'autant moins que ces variables ne sont même pas toutes connues. Il suffit, pour s'en rendre compte, de penser, parmi combien d'autres, aux découvertes successives des rayonnements infrarouges, ultraviolets, électromagnétiques, cathodiques, X, radioactifs, ultra-X, etc.; des nouveaux gaz de l'atmosphère; des nouvelles données sur la structure de la matière

(1) Du grec, *dunamis* : puissance, action; et par extension : cause.

Digitized by Google

vivante, qui présente, elle aussi, non pas une, mais un grand nombre de variables ; etc. Des précautions toutes particulières deviennent donc nécessaires pour assurer la séparation et l'isolement des actions et des réactions, en y adjoignant, si cela paraît désirable, telle multiplication convenable des expériences, qui permette d'éliminer certaines incertitudes, de savoir à quel degré de précision on opère, et d'énoncer des résultats sérieux : les travaux de Standfuss, dont il est parlé un peu plus loin, ont, par exemple, porté sur 40 000 chrysalides.

Le *Temps* se présente bien comme une seule variable et même comme la seule variable indépendante : il s'écoule sans qu'on puisse avoir aucune prise sur lui, et nous avons déjà remarqué qu'il était impossible d'en jamais affranchir la nature (1).

Pour la commodité de l'exposé, nous nous bornons ici à cette simple indication. Au Chapitre prochain, nous reviendrons sur certaines propriétés de la matière vivante, et sur la manière dont le temps « joue » dans les questions qui nous occupent.

L'Univers évolue donc sans trêve, et d'une manière irréversible. On exprime parfois ceci en disant qu'il ne passe jamais deux fois par le même état.

La *Matière vivante* vérifie tous les jours cette affirmation. De plus, elle ne peut passer, même une seule fois, par une valeur nulle, car une de ses caractéristiques est d'exister antérieurement à tout moment où il plaît de la considérer : la matière vivante est une « fonction » qui n'a jamais de « zéro ».

Enfin, comparée à celle de la matière non vivante, l'évolution de la matière vivante est rapide.

A l'échelle de nos sens, il est vrai, cette évolution paraît lente, mais cette lenteur est toute relative à eux, puisque nous évoluons tous de manière analogue. Aussi une observation objective montre-t-elle que tous les éléments constituants d'un être vivant se renouvellent constamment, et que toutes ses activités sont en incessante variation (2). A cet égard, on peut considérer que, des deux mots joints « être vivant », le premier s'adresse à la pseudo-stabilité globale, statistique, et le second à l'essentielle variabilité. Il faut ajouter que

(1) *Cf.* t. I, § 30, Remarque, p. 106 et suiv.

(2) *Cf.* t. I, fin du Chapitre II, § 34, Remarque II, p. 142.

Digitized by Google

la présence d'un tissu de déchet, solide et dur (bois, squelette), concourt à renforcer l'impression de stabilité relative, en masquant la mobilité véritable du tissu vivant proprement dit.

En tous les cas, ce qui semble bien caractériser la Vie, ce n'est pas telle ou telle donnée particulière, mais le fait que toutes les activités de l'être vivant restent associées et orientées, et que leurs changements incessants et rapides aient pour résultante le maintien temporaire d'une évolution générale plus lente, donc dotée, pour un moment, d'une certaine permanence apparente.

Et ainsi, l'Homme, à des années de distance, a le sentiment d'une unité qui a duré, et dit : « moi ».

Ce n'est pas le lieu d'examiner ici les liens de telle indication avec le Problème de la Réalité : on conçoit que si l'attention est frappée davantage par les apparences et les données perceptibles, relativement stables, ou au contraire par le fait même d'un principe qui se transforme et s'écoule, on puisse penser que la Réalité est dans ce qui se voit, se constate et se mesure, ou au contraire qu'elle est au delà. Et nous touchons, de nouveau, aux deux grandes manières de voir, différentes, mais complémentaires, de l'Occident et de l'Orient [1].

Au point de vue morphologique, un être vivant se présente comme un système déformable, assujetti à des liaisons spéciales, fort variables. Et ce système est constamment soumis à des actions innombrables. Il n'a donc plus *une* configuration, il en a une infinité. Il n'est plus simplement déformable, il est en incessante déformation. Il n'est pas simplement mobile, il est un *milieu en mouvement.*

Par incessante déformation, il faut entendre, non seulement un geste, ni un groupe de gestes, ni même toutes les attitudes, mais l'ensemble, beaucoup plus important, de tous les états par où passe un organisme, vite ou lentement, si lentement que ce soit, depuis le moment où il est œuf, jusqu'au moment où il meurt.

La notion capitale de « milieu en mouvement » permet d'envisager l'étude des Formes vivantes comme un problème de Mécanique physique, c'est-à-dire, pour transcendant qu'il soit, de l'aborder

---

[1] *Cf.* t. I, fin du Chapitre II, § 34, Remarque II, p. 142.

Digitized by Google

avec des méthodes sûres, dont le degré de précision est connu. L'œuvre de Houssay, et en particulier ses travaux sur les Poissons, en sont une très belle illustration (1).

On est conduit à cette notion de « milieu en mouvement » tout naturellement, soit d'emblée, comme ici, soit comme plus haut, par des relevés graphiques bien interprétés (2).

Elle paraîtrait plus intuitive encore sans la présence de squelettes, qui masquent ou retardent les modifications. Une plante, par exemple, a bien peu l'air d'un « milieu en mouvement ». Mais il suffit, par une disposition appropriée, de ramener ses modifications à une autre vitesse, pour voir éclater les plus frappantes similitudes. Si l'on prend une graine, et que, depuis la première apparition du germe jusqu'au dernier moment de la plante, on photographie celle-ci de quart d'heure en quart d'heure, et qu'ensuite on projette ces images sur un écran, à la fréquence de 16 par seconde, on assiste à un spectacle extraordinaire. Le germe court sur le sol, avec des mouvements de reptation, identiques à ceux d'un ver. Il va, vient, avance, recule, se détourne devant une motte trop dure, puis découvre une fissure à peine visible, s'enfonce et disparaît. La tige jaillit avec force, se balance, ondule et monte en une courbe tournante d'une grâce extrême. Les feuilles naissent, se déplissent et se replient périodiquement, expansion et contraction montrant, d'une manière saisissante, aux yeux les moins prévenus, la respiration rythmée. Puis, une gerbe de fleurs se développe, ardente, toute tendue, vibre un instant. Un spasme soudain la fauche, et c'est la rétraction rapide et pénible, la mort : tels tous les frémissements de la vie d'un animal.

Une modification peut aussi se trouver non seulement ralentie mais différée et, corrélativement, prolongée. Les colloïdes sont visqueux. Leur viscosité physique va de pair avec une viscosité fonctionnelle générale, et la structure compliquée de la matière vivante accentue encore cette caractéristique (3). Il en résulte que, parmi les réactions incessantes dont la matière vivante est le siège, beaucoup sont dues à des actions très anciennes, car ces effets peuvent

(1) *Cf.* plus haut, t. I, Chapitre I, § 28, Tourbillons, p. 85.

(2) T. I, fin du Chapitre II, § 34, Remarque I, p. 141.

(3) On y revient, plus en détail, au Chapitre suivant, §§ 47 et 49.

Digitized by Google

dépasser la vie de l'individu, et se transmettre à ses descendants, par un processus d'ailleurs inconnu.

On distingue les effets du Cosmos, antérieurs à un individu donné, et dont sa substance porte encore la trace, des effets contemporains à lui, et qui la marquent chaque jour. Les premiers sont ses *propriétés innées*, et constituent son *hérédité*. Les seconds sont ses *propriétés acquises*, et constituent son *adaptation*. L'état actuel de l'individu résulte de la combinaison des deux groupes de propriétés.

Cette distinction réside donc, avons-nous déjà dit (1), non dans une différence d'essence des choses, mais dans une différence d'aspect, relative à une époque, l'hérédité n'étant qu'une adaptation ancienne, fixée dans la matière vivante, grâce à la viscosité du colloïde protoplasme, par la durée de mêmes conditions du milieu.

La persistance de la fixation est fonction de cette durée, et des deux qualités de viscosité et de plasticité de la matière en cause. Elle n'a donc, en soi et *a priori*, rien de définitif, et peut disparaître sous l'influence d'actions nouvelles, assez intenses et assez prolongées. On verra plus loin un exemple illustrant bien ceci (2).

Mais l'analyse des phénomènes d'hérédité est souvent difficile, parce qu'en toute rigueur elle devrait commencer à l'origine des choses, ce qui est impossible. En commençant à une époque moins éloignée, on néglige toujours certains facteurs, facteurs inconnus, et l'on n'est pas, *ipso facto*, en état de tenir compte de ce qu'on a négligé. D'où une diminution possible dans la certitude des conclusions.

Dans ce qui précède, rien n'indique une limitation au sens du terme « propriété ». On verra pourquoi au Chapitre prochain (3). Ce qui est dit s'applique donc à la Forme, et nous devons retrouver en elle les éléments correspondant aux propriétés innées et ceux correspondant aux propriétés acquises.

43. — FORME ET MATIÈRE.

Le paragraphe 39, du précédent Chapitre, avec les squelettes de

(1) T. I, Chapitre I, § 13, p. 22.
(2) Chapitre VI, § 55, p. 82 (Bigoudenn).
(3) Chapitre VI, § 49, p. 28.

Digitized by Google

radiolaires et de foraminifères, montre les relations étroites entre la Forme et les propriétés de consistance de la *Matière*.

A vrai dire, il s'agit là de tissus de déchet, et non de matière vivante proprement dite. Tous les degrés possibles de consistance sont présentés par les tissus vivants, comme par leurs excreta, depuis le liquide très mobile jusqu'au solide très dur, et l'observation précédente pourrait être renouvelée, avec les mêmes conclusions. Mais le cas de la Forme humaine permet un exposé beaucoup plus complet et décisif. Le développement de ce paragraphe-ci est donc transporté en bloc au Chapitre prochain.

44. — FORME ET MILIEU.

Plus haut, les exemples de réalisation, dans la nature, de Formes définies, mettent en évidence l'action du *Milieu :* forces moléculaires, osmose, pesanteur, tensions, pressions, tourbillons, etc. Les modèles mécaniques de Poissons, reproduits dans le Mémoire de Houssay en donnent une belle démonstration (1).

Du microorganisme à l'homme, végétale ou animale, la série vivante tout entière illustre cette action. Mais certaines expériences sont particulièrement remarquables, parce qu'elles mettent en évidence, dans certains cas, l'influence presque immédiate des actions du dehors, et l'étonnante plasticité de la matière vivante. Voici trois exemples, parmi une légion :

1° Microbes.

On appelle *Pyocyanique* le bacille du pus bleu. Cultivé dans le bouillon de bœuf, il se présente sous la forme de bâtonnets microscopiques, disposés en chaînettes de deux ou trois sujets, ou en petits amas. En ajoutant au bouillon $0^g,02$ pour 100 de naphtol, les bacilles s'allongent, se réunissent parfois en filaments, et forment un feutrage à la surface de la culture. En remplaçant le naphtol par $0^g,06$ pour 100 d'acide borique, les bacilles s'allongent encore,

(1) F. Houssay, *Forme, puissance et stabilité des Poissons* (Paris, Hermann, 1912).

Digitized by Google

s'incurvent et forment des spirilles de 10 à 20 spires. Le bicarbonate de potassium, à 0,015 pour 100, développe les bacilles en grands filaments. Au contraire, avec l'acide phénique ou la créosote, les bacilles se raccourcissent au point de devenir de petits cocci presque ronds. Puis, dès qu'on transporte le microbe dans du bouillon, sur de la gélose, ou de la gélatine, il reprend sa forme normale.

Les fonctions du microbe sont modifiées en même temps que sa forme. Il est aérobie, et, sous sa forme normale, sécrète divers pigments, dont un bleu, la pyocyanine, facilement extraite des cultures par le chloroforme. Dans l'oxygène, le pyocyanique reste incolore. Les antiseptiques en quantités modérées ne tuent pas le microbe, nous venons de le voir, mais suppriment la production des pigments. Par différents artifices, on arrive ainsi à créer différentes races de pyocyaniques, dont l'une, notamment, a une fluorescence verte. Etc.

D'une manière analogne, dans un organisme vivant, il suffit parfois qu'un microbe passe d'un tissu au tissu voisin pour prendre un nouvel aspect. Des modifications aussi étendues font comprendre la difficulté de l'identification des espèces, et comment il a pu arriver que l'on catalogue comme espèces étrangères les variétés d'une même espèce ayant poussé dans des milieux différents.

Les phénomènes d'atténuation ou d'exaltation de la virulence, avec ceux, corrélatifs, de vaccination, sont de même ordre, liés au passage du microbe dans des milieux successifs convenables.

Remarque.

L'action d'un facteur *chimique* peut donc rendre méconnaissable un microorganisme, tandis qu'un vertébré ne subira, dans des conditions analogues, *mutatis mutandis*, que des dilatations ou rétractions relativement minimes, autour d'un gabarit moyen.

La chose est naturelle si l'on veut bien penser que, pour un organisme suffisamment petit, les influences prédominantes seront de l'ordre de l'atome ou de la molécule. Avec l'accroissement de la taille, et la présence éventuelle d'un squelette, s'introduira l'influence d'autres facteurs (pressions, tensions, etc.), qui pourront diminuer l'amplitude visible des modifications dues aux facteurs chimiques, sans diminuer leurs effets profonds. Les répercussions morpholo-

Digitized by Google

giques seront moins étendues, mais les variations fonctionnelles internes le seront peut-être davantage.

A cet égard, il semble même qu'il y ait une sorte de suppléance ou de compensation entre les fonctionnements superficiels, d'où dépend la forme, et les fonctionnements profonds. Il est bien certain, en effet, que les manifestations énergétiques correspondantes sont complémentaires, et Bose a pu le vérifier directement, dans un cas précis.

Pour l'individu humain, on peut constater le fait suivant, qui corrobore cette remarque :

Sous des chocs intenses (sans spécification), ou répétés, ou les deux ensemble, un organisme ne tombe pas forcément « malade » tout de suite. Mais il accuse des modifications morphologiques : dilatation ou rétraction, locale ou générale. Si les conditions fâcheuses persistent, la modification s'accentuera. Mais elle a des limites, et au delà surviendra le désordre fonctionnel proprement dit, l'état de « maladie ». Un changement de forme un peu accentué est donc subpathologique, et doit attirer l'attention du médecin.

Et, inversement, si l'état de « maladie » s'établit dès le début des chocs, les changements de forme sont en général moindres. Ainsi, certains changements de forme seraient un désordre fonctionnel latent, encore bien toléré, ou y équivaudraient (1).

En revenant au début de la remarque présente, il y a place, entre le microorganisme et l'homme, pour toutes les répercussions d'étendue intermédiaire, dues à un facteur chimique.

Nous renvoyons le lecteur aux Ouvrages spéciaux, et notamment à ceux de J. Lœb (2) et de G. Bohn (3), où sont exposées des recherches du plus grand intérêt.

---

(1) Un changement de forme est bien fonctionnel, lui aussi; mais on a compris que nous distinguions le changement fonctionnel, superficiel et visible, du changement fonctionnel interne, non visible.

(2) Parmi d'autres : *La Fécondation chimique.* Trad. Anna Drzevina (Paris, Mercure de France, 1911). *La Conception mécanique de la Vie*, Trad. H. Mouton (Paris, Alcan, 1914). *Les bases physico-chimiques de la régénération.* Trad. H. Mouton (Paris, Gauthier-Villars, 1926).

(3) *Id.* : G. Bohn et A. Drzewina, *La Chimie et la Vie* (Paris, Flammarion, 1920).— G. Bohn, *La Forme et le Mouvement* (Paris, Flammarion, 1911). *La Vie*

Digitized by Google

2° Plantes.

Dans le petit Livre attachant de G. Bonnier, *Le Monde végétal* (1), on trouvera décrites, au Chapitre IX, tout un ensemble d'expériences positives concernant la variabilité des végétaux sous l'action du milieu.

On y verra comment la présence d'un milieu aquatique, l'humidité ou la sécheresse de l'air, la nature du sol, la lumière, etc., modifient directement la forme d'une plante. Un des exemples les plus nets est la disparition des épines et leur transformation en feuilles, obtenues simplement en maintenant dans une atmosphère humide le Genêt épineux d'Angleterre, l'Épine-Vinette, le Chardon, l'Aubépine. Puis, inversement, en cultivant certaines plantes peu épineuses dans un air constamment desséché, les rameaux feuillés ou florifères se raccourcissent, se durcissent, s'amincissent à leur extrémité, et se transforment en autant de pointes.

Le Chapitre suivant du Livre, consacré aux expériences faites sur les modifications dues au climat, paraît plus remarquable encore. G. Bonnier a d'abord montré qu'un même plant de plaine, transporté à $2{,}400^{m}$ d'altitude, y prend, dès la première année, tous les caractères distinctifs des végétaux alpins.

Ensuite, à Fontainebleau, l'auteur a réalisé une reconstitution artificielle des conditions climatériques de la montagne (et principalement des alternances de température propres à elle), y a fait vivre des espèces de la région parisienne, et leur a vu prendre presque tous les caractères extérieurs, la structure, et les fonctions des plantes d'altitude.

Enfin, G. Bonnier a réalisé, à Paris même, des conditions physiques se rapprochant autant que possible de celles présentées par le climat des terres glaciales boréales. Puis il a recueilli, en montagne, encore sous la neige, de jeunes pousses de plusieurs espèces alpines, notam-

---

et la Mort (Paris, Stock, 1925). *Biologie et psychologie comparée. Vie; matière; énergie* (Cours professé en Sorbonne, 1927).

(1) Paris, Flammarion, 1914.

Digitized by Google

ment de Saxifrage à feuilles opposées et de Silène à tiges courtes, les a transportées et exposées à ces nouvelles conditions. Les pousses nouvelles, après leur développement complet, avaient acquis l'aspect et la structure intime, non plus des plantes de la montagne, mais des plantes de même espèce recueillies au Spitzberg. Ainsi était obtenue, dans ses grands traits, la synthèse de la forme et de la structure particulière qui caractérisent les plantes arctiques.

3° Les Vanesses de Standfuss.

Certains des travaux du grand entomologiste zurichois Standfuss ont porté sur les chrysalides de Vanesses.

A l'état de chrysalide, les échanges avec le milieu étant des plus réduits, tout semble s'y passer suivant les impulsions précédemment reçues, et l'on n'imagine guère pouvoir y changer quelque chose. Or, par de seules variations de température, Standfuss a obtenu des modifications très profondes, qui classent ses expériences parmi les plus curieuses et les plus pertinentes de la Morphologie dynamique.

Les chrysalides des environs de Zurich passent leur vie ralentie à une température moyenne connue. Standfuss les faisait incuber dans des enceintes soit plus froides, soit plus chaudes : à 4°, 6°, et jusqu'à 8°, dans une petite glacière, ou à 37°, 38°, 39°, et jusqu'à 40°, dans une étuve du Bureau du contrôle des semences. Les résultats furent les suivants :

Parmi les espèces animales qui vivent dans une région donnée, il en est qui viennent de régions éloignées, et se sont acclimatées, en subissant des modifications de forme et de couleur. On appelle *progressives* les espèces actuelles dans la région considérée, et *régressives* les espèces initiales des régions éloignées, où, d'ailleurs, elles peuvent avoir des représentants, actuels aussi. Une même espèce, à Zurich, pourra être progressive par rapport à une espèce éloignée, immigrée, dont elle descend, et régressive par rapport à une autre espèce éloignée, émigrée, qui provient d'elle, sans qu'il faille attacher à ces deux termes aucune signification favorable ou défavorable.

Cela étant, d'une manière générale, Standfuss a trouvé que des espèces du Nord, c'est-à-dire des espèces qui, avec leurs parentes, se trouvent principalement dans les régions du Nord, et qui en

Digitized by Google

proviennent, donnent, par le froid (1), des formes régressives, et par la chaleur (1), des formes progressives.

Inversement, des espèces d'origine méridionale, c'est-à-dire des espèces venues du Sud pour s'acclimater dans la région de Zurich, et dont les espèces voisines appartiennent toutes ou presque toutes aux contrées tropicales ou subtropicales, donnent, par la chaleur, des formes régressives, et par le froid des formes progressives.

Ainsi apparaît l'influence morphogène étendue du seul facteur *température*.

D'une manière plus particulière :

α. *Formes de saison.* — Il y a des espèces qui ont des variétés dont l'éclosion est constamment liée à des saisons déterminées.

Par exemple, la *Vanessa C. album* a une variété d'été et une variété d'automne. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, on transforme, par le froid, la variété d'été en celle d'automne, et l'on transforme, par la chaleur, cette seconde variété en la première.

Or, on a de bonnes raisons pour penser que la *Vanessa C. album* est une espèce de provenance septentrionale, et que sa variété d'automne est, phylogénétiquement (2), la plus ancienne. La variété d'été est survenue plus tard. De sorte que cette variété d'été serait, en effet, transmuée, par l'expérience, d'une manière régressive, tandis que la seconde génération serait transmuée d'une manière progressive.

β. *Formes locales.* — Formes qui se trouvent, d'une manière stable, dans des contrées déterminées.

La *Vanessa urticæ* L. a pu être transmuée directement, par le froid, en la variété polaire *Stgr*, de Laponie; et, par la chaleur, rapprochée très visiblement de la variété *Ichnusa* B. qui habite la Corse et la Sardaigne.

La *Vanessa urticæ* L. est, très probablement, d'origine septentrio-

---

(1) Les termes de *froid* et de *chaud* sont des abréviations pour : abaissement ou élévation des températures ordinaires d'incubation des chrysalides.

(2) Phylogénie : développement de la race (du grec : *phulè*).
Ontogénie : développement de l'individu (du grec : *ontos*).

Digitized by Google

nale, et la variété polaire *Stgr* est phylogénétiquement plus ancienne qu'elle. Pour la même raison, la variété *Ichnusa* B. est une forme plus récente.

L'étendue de la transformation réalisée ici est tout à fait remarquable. Mais les suivantes ne le sont pas moins.

γ. *Transformation du dimorphisme sexuel de couleur.* — On appelle *dimorphisme sexuel* le fait d'une différence morphologique entre l'un et l'autre sexe, dans une même espèce.

Standfuss a obtenu, par la chaleur, la transformation progressive, complète ou presque, du type indécis et blanchâtre de la femelle du *Rhodocera rhamni*, en le type mâle, jaune vif.

Il faut dire que le dimorphisme sexuel de couleur n'est que l'un des termes de la suite continue du développement phylogénétique de l'espèce. Dans le cas précédent, comme d'ailleurs il paraît bien que ce soit la règle générale, l'individu mâle représente l'individu phylogénétiquement le plus jeune, et l'individu femelle l'inverse. La transformation du type femelle en type mâle a eu lieu dans le sens progressif.

δ. *Types aberrants, ou inconnus.* — Dans certains cas rares, les expériences donnent naissance à des types aberrants, c'est-à-dire à des individus dont la forme est identique ou semblable à celle de types aberrants naturels : individus dont l'existence n'est pas liée à une saison ou à un lieu déterminés, et que l'on trouve ici ou là, à l'état sauvage, dans le domaine habité par l'espèce.

On peut adjoindre à cette catégorie d'autres formes qui, jusqu'ici, n'ont jamais été encore observées dans la nature.

45. — LES DEUX ÉLÉMENTS PRINCIPAUX D'UNE MORPHOLOGIE.

Les exemples que nous venons de voir, et ceux auxquels il a été fait allusion, permettent une constatation importante, que la fin du paragraphe 42 faisait pressentir.

L'adaptation d'un être vivant résulte, à chaque moment, de ses réactions aux actions du dehors. Les modifications morphologiques

Digitized by Google

correspondantes, ou propriétés ainsi acquises, sont relativement variables, et communes, c'est-à-dire identiques, à de minimes différences individuelles près, à tout lot d'organismes de même espèce placés dans les mêmes conditions.

D'autre part, la matière vivante d'un être qui naît est douée de certaines autres propriétés, innées à elle, sorte de patrimoine individuel, héréditaire, et qui, au contraire des précédentes, sont relativement persistantes, car elles résultent d'actions anciennes, accumulées depuis fort longtemps.

Ceci, d'ailleurs, indique les relations mutuelles des deux groupes de propriétés.

Au point de vue morphologique, on constate donc deux éléments ou groupes d'éléments principaux :

Des éléments communs, liés aux actions du dehors;

Et des éléments individuels, liés à la nature particulière de la matière en cause.

De plus, cette distinction n'est pas essentielle, mais relative à une époque donnée.

Ainsi est légitimée la discrimination relative, faite dès le début, à propos des Formes définies (1), continuée lors de l'étude de la Matière non vivante (forme et fonctionnement communs, forme et fonctionnement individuels), annoncée pour la Matière vivante, qui sera poursuivie jusqu'en Esthétique (Technique, Interprétation), et affirmée être générale (2).

On la retrouve en Morphologie humaine, qui permet aussi de reprendre un ou des deux points laissés de côté jusqu'ici.

---

(1) T. I, Chapitre I, § 13, p. 22.

(2) T. I, Chapitre II, § 39, p. 166.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

MORPHOLOGIE HUMAINE.

PRÉLIMINAIRE.

46. — TENDANCES NOUVELLES.

La Morphologie humaine est un cas particulier de la Morphologie animale, mais les progrès respectifs des trois étapes (1) de l'une et de l'autre ne sont point parallèles, car pour la série animale les données *expliquées* constituent déjà un édifice imposant, tandis que pour l'espèce humaine on a seulement le début d'une ébauche.

La raison s'en trouve dans la différenciation plus grande de l'organisme humain, qui rend malaisée la recherche du déterminisme des formes, et aussi dans des circonstances fortuites, assez instructives à rappeler brièvement, et qui ont limité l'essor des deux tentatives les plus intéressantes faites en ce sens.

L'auteur de la première, véritable créateur de la Morphologie nouvelle, est Thomas de Troisvèvre, médecin qui vivait au commencement du siècle dernier.

Son livre sur les Tempéraments (aujourd'hui on dirait : types morphologiques) (2) étudie la « fonctionomie » ou « physionomie des fonctions », c'est-à-dire « l'art de reconnaître, par la seule inspection externe, l'état des organes et l'énergie de leur fonctionnement (3) ». Énergie, ici, doit être pris dans le sens de quantité d'énergie reçue, et transformée par assimilation. Thomas de Troisvèvre a noté le

(1) Statique, cinématique, dynamique : description, évolution, explication.

(2) On appelle *type morphologique* l'ensemble des caractéristiques morphologiques présentées par une certaine collection d'individus.

(3) F. Thomas de Troisvèvre, *Physiologie des Tempéraments ou Constitutions* (Paris, chez Baillère et chez l'Auteur, 1826).

Digitized by Google

développement simultané des prédominances morphologiques et des prédominances fonctionnelles, et a décrit en détail les unes et les autres. Parmi les deux groupes de types distingués aujourd'hui, il a trouvé trois sur quatre des types principaux de l'un des groupes, leurs combinaisons deux à deux, et pressenti un quatrième type. Il a indiqué comment, indépendamment de l'inspection du corps, on peut les reconnaître au seul aspect du visage. Il a étudié les variabilité et stabilité relatives des types, leurs rapports avec l'âge, avec le sexe, et avec la psychologie de l'individu. Un Chapitre étudie les relations entre les types et les états pathologiques, touche aux notions de stase (1) et de synergie fonctionnelle (2), et donne des indications relatives au diagnostic, au pronostic, à la thérapeutique. Un autre, enfin, tente une application à la Morphologie animale.

L'œuvre, on le voit, est remarquable. Malheureusement pour lui, Thomas de Troisvèvre était très en avance sur son époque. Au moment où il écrivait, on ne possédait encore aucune des données précises qui eussent permis de montrer la raison d'être et le sens profond de sa découverte. Elle suscita bien quelques témoignages d'estime. Mais l'œuvre se présentait isolée. On la délaissa, et l'abandon fut long.

Il fallut attendre trois quarts de siècle pour qu'un autre médecin, C. Sigaud, de Lyon, reprît les mêmes idées, et s'efforçât de les conduire plus loin.

Des deux groupes d'éléments que nous avons appelés « forme et fonctionnement communs », « forme et fonctionnement individuels », Thomas de Troisvèvre avait été frappé surtout par le premier. Sigaud compléta le premier, examina aussi l'autre, trouva de nouveaux types, et entreprit de dégager ce qu'il pouvait y avoir de commun à tous les états morbides, quelle que soit la nature du choc initial : entreprise d'autant plus méritoire qu'en science médicale les notions sont catégorisées à outrance, et fâcheusement morcelées (3).

Après un pas en avant aussi considérable, on pouvait s'attendre

(1) Arrêts fonctionnels.

(2) Terme défini plus loin (*cf* § 47, p. 22).

(3) Cette fragmentation injustifiée et une terminologie surabondante montrent qu'en gros la phase dominante du développement de la Médecine est encore « statique ».

Digitized by Google

à ce que les progrès de cette reprise de la Morphologie fussent rapides. Deux raisons devaient s'y opposer. La première est de détail, mais elle a son importance. Dans les écrits de Sigaud, les dénominations moins qu'heureuses, les locutions imprécises, ambiguës, impropres, voire erronées, ne sont pas rares. La diffusion de sa pensée n'y a pas gagné. Mais ce n'est là que la moindre des deux raisons. Dans son ardeur à défricher le terrain, Sigaud ne vit pas que la méthode médicale classique et la sienne considéraient deux aspects différents du même problème, et qu'on pouvait tout attendre de leur collaboration. Il les crut étrangères, voire opposées. Il étendit même cette conception antagoniste aux autres sciences dont la Médecine classique se réclamait.

Erreur essentielle, et faiblesse. Évidemment, les mesures minutieuses et précises ne valent que par la résultante de leur combinaison, mais non moins évidemment aussi, une donnée de Qualité ne prend son sens que par les bases physiques qui en sont les racines. L'exclusivisme précédent comporte d'abord le grand danger d'incliner à confondre un programme de recherches avec une vérité acquise, une parcelle de vérité avec la vérité totale, et de tomber dans la systématisation. L'œuvre de Sigaud ne sut pas toujours y échapper, d'autant plus que ses disciples, ainsi qu'il arrive souvent, renchérirent encore sur leur maître. Mais le plus grave inconvénient de l'attitude prise est de présenter cette nouvelle branche de la Morphologie comme à part, n'ayant de lien commun avec aucune autre, isolée entièrement : on la prive ainsi de toute possibilité d'explication, et, par là, de ses meilleurs espoirs de progrès. Et, de fait, Sigaud pose expressément le problème aux points de vue statique et cinématique, et non dynamique [1]. Aussi, n'est-il pas étonnant qu'après lui cette branche n'ait pu marquer à son actif aucune acquisition nouvelle proprement dite, ni même, et c'est caractéristique, combler une seule des lacunes considérables que laissait fatalement derrière elle la marche en avant initiale [2].

---

[1] *Cf.* la Préface de son dernier livre : *La Forme humaine* (Paris, Maloine, 1914). D'autres ouvrages devaient suivre, mais Sigaud (né en 1862) fut enlevé en 1921.

[2] Parmi beaucoup d'autres lacunes, la nouvelle branche de la Morphologie humaine n'a guère pu préciser ses liens avec l'histologie, l'embryologie, les fonctions endocriniennes, les fonctions nerveuses, etc.

Digitized by Google

A l'égard de tous ces sujets, ma manière de voir est exactement l'inverse de celle de Sigaud :

D'une part, les tendances nouvelles de l'étude des formes humaines ne sont, dans leurs grandes lignes, que l'application, à un cas particulier, des principes généraux de la *Morphologie dynamique*, si lumineusement posés par Houssay, dès 1900 (1).

D'autre part, dans ses modalités, l'étude en question n'est que la conséquence directe des données d'une science toute voisine. La Forme, avons-nous dit, n'est que l'une des réactions de la matière. Il suffit, en effet, de confronter les « réactions morphologiques » avec les autres réactions de la matière vivante, pour voir que les unes et les autres obéissent aux mêmes lois : la Morphologie est donc un des cantons de la Physiologie (2). Parmi les lois en question, il en est plusieurs, établies par Bose en physiologie pure, dont l'application aux formes humaines est directe et saisissante (3).

Enfin, à la faveur de certains autres rapprochements, les données précédentes apparaissent, dans leur allure, comme rattachées à une notion commune, très générale, étudiée en Physique, et l'on est ainsi conduit à une vue d'ensemble compréhensive et féconde.

Tel est l'enchaînement des brèves indications qui vont suivre, et qui groupent en un faisceau cohérent certaines des constatations, mal expliquées, de la nouvelle Morphologie humaine.

Il est à peine besoin d'ajouter que loin de perdre le moindrement à être envisagés *ainsi*, les résultats de Thomas de Troisvèvre et de Sigaud y trouvent, au contraire, toute leur signification et, par conséquent, toute leur valeur :

Ironie des choses, qui dégage l'appréciation la plus efficace des

---

(1) F. Houssay, *La Forme et la Vie* (Paris, Schleicher, 1900). Cette date de 1900 est antérieure de huit années à la première mention de type morphologique faite par Sigaud (*loc. cit.*, p. 31 et 32). Thomas de Troisvèvre, en revanche, avait appliqué la Morphologie dynamique « avant la lettre ».

(2) Et la réciproque n'est pas vraie. Nous reviendrons encore une fois sur ce point (*cf.* § 50 : La réaction particulière appelée Forme, p. 33).

(3) Le premier Mémoire, fondamental, de Bose a paru en français, également en 1900. Avant 1908, tous les développements principaux avaient déjà paru, en trois volumes : *Response in the living and non living* (1902) ; *Plant response, as a means of physiological investigation* (1906) ; *Comparative Electrophysiology* (1re édition, 1907). Avant 1914, un autre volume paraissait encore (*cf.* Chap. IV, § 41, p. 200). (Londres et Calcutta. Longmans et Green).

Digitized by Google

idées chères à Sigaud, de ces travaux de laboratoire dont il se déclarait l'adversaire.

GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉACTIONS DE LA MATIÈRE VIVANTE.

47. — ÉCHANGES D'ÉNERGIE. RÉACTION.

Voici le rappel succinct des données relatives aux réactions de la matière vivante, nécessaires pour comprendre quelque chose aux faits principaux de la Morphologie humaine.

Nous voudrions ce rappel plus bref encore. Mais en Biologie on rencontre un assez grand nombre de termes relativement familiers, et dont, peut-être en raison de l'emploi fréquent, une convention expresse n'a pas toujours cru devoir fixer le sens précis. Pour éviter des malentendus possibles et des discussions sans issue, nous aurons donc à les définir au fur et à mesure, et ceci gênera un peu le courant de l'exposé proprement dit.

De plus, nous comptons introduire en Morphologie l'usage de certains schémas, et il importe d'avoir indiqué d'abord, tout au moins sommairement, leur degré de généralité.

Les notions auxquelles nous toucherons concernent les réactions simples, leurs caractéristiques, leurs variations; puis les réactions multiples, et les réactions spontanées ou autonomes. Elles s'enchaînent on le voit, logiquement, et la Morphologie humaine en est, à la fois, l'aboutissant et l'illustration.

Énergie reçue, absorbée, transmise ou émise.

1° Soit un milieu, avec tous ses facteurs d'action, ou énergies variées. Soit, dans ce milieu, une matière vivante quelconque. Soit enfin sur une petite portion de sa surface, pendant une certaine durée, une *action* incidente, ou énergie *reçue*.

Au point touché, ou point d'impact, le résultat de l'action sera une certaine *modification*, qui semble bien pouvoir, en dernière analyse, se ramener à un *mouvement élémentaire :* le point intéressé passe d'une

Digitized by Google

position initiale à une autre position. Lorsque cesse l'action, cesse aussi la modification, et le point revient à sa position initiale.

Déplacement, distorsion, déformation moléculaire, sont synonymes de cette modification. On dit aussi : perturbation, et même : onde de perturbation, bien qu'on ne sache pas s'il y a « onde », au sens rigoureux du terme.

La modification provoquée se propagera dans la matière, suivant les directions les plus diverses, à la surface et dans la profondeur, en subissant des changements correspondants.

Plus ou moins loin du point d'impact, on pourra la déceler, et mettre en évidence une manifestation d'énergie, ou : *réaction manifestée.*

Ainsi la matière reçoit de l'énergie, est modifiée par elle, la transforme, et en *transmet.* (Ou encore : en *émet.*)

2° La *transformation* peut entraîner un changement de degré ou de modalité : mouvement uniforme devenu accéléré ou périodique, température basse devenue haute, ou l'inverse, etc. Elle peut aussi entraîner un changement d'espèce, plus ou moins étendu : énergie chimique devenue chaleur, électricité devenue mouvement, etc.

De plus, ces transformations peuvent avoir lieu séparément, c'est-à-dire affecter une seule des formes d'énergie présentes, ou simultanément les affecter toutes. Car s'il est commode de distinguer et d'étudier séparément les différentes espèces d'énergies, elles sont, dans la nature, toujours associées.

3° En raison des propriétés physiques de la matière vivante (mobilité, viscosité, inertie, plasticité, etc.), la *transmission* d'énergie n'est pas immédiate, et peut être très retardée. Il en est de même pour le retour au *statu quo ante*, lorsque cesse l'action incidente. Avant d'être transmise, ou en même temps qu'est transmise une partie de l'énergie reçue, l'énergie est *absorbée* et *accumulée.* (1)

4° Pour cette raison, à un instant donné, la *quantité* d'énergie transmise n'est pas, en général, égale à la quantité d'énergie reçue. Et ceci peut concerner un intervalle de temps d'une durée quelconque. Il est d'ailleurs possible que, dans des circonstances déterminées, les quantités d'énergie reçue et transmise soient égales.

(1) Les termes de « absorbée et transmise » ont comme synonymes : accumulée et dépensée, latente et manifestée, potentielle et actuelle, interne et externe,

Digitized by Google

5° Enfin, en supposant le milieu constant, et des conditions moyennes, assez élémentaires pour que l'influence de la viscosité et des divers frottements puisse être négligée, on peut vérifier expérimentalement que la *somme* des quantités d'énergie absorbée et transmise est *constante :* ces deux quantités sont dites *complémentaires.*

Cet énoncé est un des aspects du principe de la Conservation de l'Énergie, bien connu en Physique. Bose a montré comment il s'appliquait à la matière vivante.

Réaction d'une matière vivante.

Lorsqu'il s'agit d'une matière vivante, toute modification, élémentaire ou complexe, due à une action du dehors, exercée pendant un certain temps, prend le nom de *réaction* de la matière considérée.

Comme d'ailleurs une matière vivante n'est, à tout moment, dans toutes ses parties et dans son ensemble, que la résultante de ses réactions, ce dernier terme correspond à ce qu'on appelle, en Physique, les *propriétés* de la matière. Mais la correspondance n'est pas évidente, parce que les propriétés de la matière non vivante sont « en gros », et d'ordinaire, constantes, tandis que celles de la matière vivante sont en incessante variation.

Une réaction de la matière vivante est donc la *variation particulière* d'une propriété *qui déjà varie.* La difficulté qu'il y aurait à rendre claire une pareille notion n'est qu'apparente. En effet, on se place dans des conditions où les propriétés restent pratiquement constantes, c'est-à-dire où l'on est, pratiquement, dans une position d'équilibre stable (1), et la réaction est la modification subie par la ou par les propriétés intéressées, sous l'influence d'une action déterminée. Il est bien certain que les expériences seront d'autant plus probantes, et leurs conclusions d'autant plus valables, que les conditions initiales seront mieux définies.

---

travaux internes et travaux externes, etc. Sauf exception, nous nous tiendrons aux deux premiers.

(1) Ou encore : au repos relatif.

Digitized by Google

Réactions associées. Parité d'allure. Synergie.

La réaction qui nous est la plus familière est la réaction mécanique, ou de mouvement, dite encore : *cinétique*.

La réaction cinétique n'existe jamais seule. Bose a montré qu'une action donnée provoque *toujours* plusieurs réactions *associées :* mouvement, réaction électrique [1], turgescence, croissance, etc.

De plus, les variations de ces diverses réactions sont simultanées, et de même allure, ou : *synergiques*.

« Allure » doit être entendu dans son sens le plus compréhensif : manière de se comporter; c'est-à-dire, en l'espèce, manière de varier, que révèle aussitôt l'examen des diagrammes représentant les réactions.

La parité d'allure est un fait important que nous retrouverons en d'autres circonstances. Elle permet souvent de parler de « la » réaction, au singulier.

La synergie des réactions (tout à l'heure on précisera un de ses aspects) a pour conséquence, dans le fonctionnement général de l'organisme, la *synergie fonctionnelle*, ou association et convergence des fonctions, qui n'est autre que l'expression objective de la *vie* de l'organisme, au sens ordinaire de ce terme. Après la mort, en effet, l'autolyse des tissus, et les autres phénomènes qui surviennent, témoignent, avant tout, de reprises séparées d'indépendance, de la part de groupements organiques (appareils, organes, tissus, cellules), qui jusqu'alors étaient restés unis et associés.

L'énoncé de la « loi de la synergie des réactions » sera complété au paragraphe 49.

48. — CARACTÉRISTIQUES D'UNE RÉACTION ÉLÉMENTAIRE, ISOLÉE.

Il est naturel d'examiner d'abord une réaction *élémentaire*, isolée,

---

[1] La présence d'une réaction électrique est une circonstance précieuse, parce que l'ordre des manifestations électriques que l'on sait déceler et mesurer avec exactitude (jusqu'à 10^{-11} volt) est infime en comparaison de l'ordre des autres réactions mesurables. De sorte que, sous des conditions qui ont été déterminées, Bose a pu continuer électriquement l'étude des réactions, même lorsque leurs manifestations ou aspects non électriques cessent d'être accessibles.

Digitized by Google

due à une action brève, appliquée une fois. On cherchera ensuite à voir comment elle variera, lorsque varieront les facteurs dont elle dépend.

Dans les deux cas, on pourra employer le terme générique de « phénomène de réaction », sous-entendu : *simple*.

L'examen des réactions *multiples*, et des réactions dites *spontanées*, suivra logiquement (§ 52 et suiv.).

Cas moyen. Diagramme. — Au début du paragraphe 47, il a été dit qu'en dernière analyse une réaction se ramenait à un mouvement élémentaire.

On prendra comme cas moyen celui où le point touché, écarté de sa position initiale, y revient tout juste. Car on verra plus tard qu'il peut, ou n'y pas revenir, ou la dépasser.

Dans le cas moyen, le diagramme de la réaction est du type suivant (*fig.* 144).

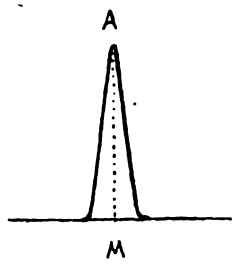


Fig. 144. — Réaction simple. Cas moyen (schéma).

La distance AM, du sommet de la courbe à l'axe horizontal, représente, en grandeur absolue, l'*amplitude* de la réaction.

Suivant leur sens, les réactions sont affectées d'un *signe*, fixé par une convention motivée. Dans un diagramme, les amplitudes positives sont portées au-dessus de l'axe horizontal des abscisses, et inversement : la figure actuelle indique une réaction positive.

Le retour à la position initiale est représenté par la partie descendante de la courbe, après le sommet M. On dit encore : *retour au zéro*, ou même, simplement « retour ».

Il n'y a pas à se préoccuper, ici ou dans un autre diagramme de réaction, du degré de plus ou moins grande ouverture, ou « affinement », de la courbe, parce qu'il dépend, non du phénomène étudié,

Digitized by Google

mais du mode de graduation, ou « échelle » des coordonnées, comme on l'a vu pour le graphique du chemin de fer (*fig.* 97, t. I, p. 127).

Nous verrons plus tard d'autres particularités des diagrammes de réaction. Mais, pour le moment, celles qui nous intéressent sont l'*amplitude*, le *signe* et le *retour au zéro*. Beaucoup de facteurs peuvent les faire varier. Parmi eux, l'influence des échanges d'énergie et de certaines propriétés de la matière sera brièvement indiquée.

49. — VARIATIONS D'UNE RÉACTION.

I. — Échanges d'énergie et variation d'amplitude des réactions.

Nous avons dit qu'une « réaction manifestée » résultait d'une transmission d'énergie, ce qui est exact. En même temps, nous avions laissé entendre que la perturbation accompagnant une absorption d'énergie restait latente, donc cachée. Or, ceci n'est vrai qu'en apparence, pas même toujours, et n'est en réalité qu'une première approximation.

Soient, pour abréger, **a** la perturbation liée à l'énergie *absorbée*, et **t** celle liée à l'énergie *transmise*.

Bose a établi que **a** et **t** peuvent chacune manifester leur présence (1). Seulement, leurs *effets* sont opposés, et la réaction finale est la résultante, ou somme algébrique des deux. De plus, **t** est en général plus grande que **a** et la masque. Elle apparaît donc bien comme la composante principale de la réaction. Mais *il est des circonstances* où **t** est, au contraire, masquée par **a**.

1° Ces circonstances concernent l'intensité de l'action appliquée, les conditions de son application, et l'état de la matière vivante considérée.

L'intensité de l'action peut être modérée, ou grande. L'action peut être générale et intéresser l'ensemble de l'individu, ou être locale. Elle peut être appliquée en un point éloigné de celui où l'on observe la réaction, ou sur un point proche de lui. L'application peut être lente ou brusque.

---

(1) Bose, *passim. Cf*, en particulier : *Plant response* (Londres et Calcutta, Longmans Green, 1906) et *Électrophysiologie comparée*, nouvelle édition, traduction de P. Lehmann (Paris, Gauthier-Villars, 1927).

Digitized by Google

Les résultats sont les suivants :

« *Une action* GÉNÉRALE, ÉLOIGNÉE, MODÉRÉE, LENTE, *a pour conséquence une* ABSORPTION *d'énergie : perturbation finale* **a**.

» *Une action* LOCALE, PROCHE, INTENSE, BRUSQUE, *a pour conséquence une* TRANSMISSION *d'énergie : perturbation finale* **t**. »

Cet énoncé sera, pour l'exposé actuel, la « première loi de Bose ».

On pourrait être tenté de substituer l'épithète « diffuse » aux qualificatifs « générale » ou « d'ensemble ». Mais on a pris l'habitude d'appeler « diffuse » une lumière tamisée par un verre dépoli, bien qu'elle arrive, d'ordinaire, d'un certain côté, et non de tous les côtés à la fois. Dans ce cas elle n'aurait pas l'effet d'une action d'ensemble. Une action d'ensemble serait, au contraire, réalisée par une élévation, uniforme et lente, de la température d'une enceinte close.

On vient de dire « lente », car une variation soudaine (de la température ou de toute autre action) équivaudrait à une action brusque.

Enfin, on peut remarquer qu'il n'est pas fait mention ici de l'*état* de la matière en cause, noté cependant parmi les circonstances à étudier. Ce terme désigne la *tonicité*. On la verra brièvement au prochain paragraphe II.

2° Les *effets* produits sur la matière vivante par les perturbations **a** et **t** sont *opposés* et permettent un énoncé un peu plus complet de la *loi de synergie des réactions*, ou « deuxième loi de Bose ».

« **a** *se traduit par un accroissement de l'amplitude, ou variation positive, des réactions* (1) : *augmentation de la turgescence, croissance plus rapide, dilatation générale ou expansion.*

» **t** *se traduit par une diminution de l'amplitude, ou variation négative, des réactions : diminution de la turgescence, ralentissement de la croissance, contraction générale ou rétraction.* »

II. — Tonicité, et changement de signe des réactions.

La notion de tonicité étend et accentue les indications précédentes.

(1) Il n'est fait mention que des réactions intéressant l'exposé actuel.

Digitized by Google

Une matière vivante est, de la part du milieu environnant, l'objet d'un apport incessant d'énergie. La quantité d'énergie accumulée dans cette matière, et présente en elle *à un moment donné*, y a créé un état général de tension, d'où dépend, pour la matière, la possibilité d'une manifestation d'énergie. Cet état est appelé la *tonicité* de la matière considérée, à l'instant donné.

Le *degré* de tonicité a pour mesure l'intensité minima de l'action nécessaire pour obtenir une variation négative des réactions, puisque tel est le signe des variations dues à la perturbation principale de transmission, **t**.

La *tonicité* elle-même est représentée par le rapport de la quantité T d'énergie transmise à la quantité A d'énergie absorbée :

$$\text{Tonicité} = \frac{T}{A}.$$

Elle sera donc petite, moyenne, ou grande, suivant que T est plus petite, égale à, ou plus grande que A. On a donné aux états correspondants les noms respectifs de : *hypotonicité*, *mésotonicité*, *hypertonicité* (1).

D'après ce qui a été dit, il est clair qu'en hypotonicité les réactions sont positives; qu'elles passent, en s'annulant, du signe *plus* au signe *moins* en mésotonicité; et qu'en hypertonicité elles sont négatives, ainsi que le résume le Tableau I :

TABLEAU I.

TONICITÉ.	QUANTITÉS D'ÉNERGIE.	RÉACTIONS
Hypotonicité.....	$T < A$	> 0
Mésotonicité	$T = A$	$\gtrless 0$
Hypertonicité	$T > A$	< 0

(1) Pour $T = 0$, la tonicité est nulle. Il n'y a pas avantage à dire « atonicité », et ce terme ne s'emploie guère. En médecine, *atonie* désigne une tonicité très faible.

Digitized by Google

On peut ajouter qu'en hypotonicité, pour des valeurs qui ne sont pas trop proches de la mésotonicité, les réactions sont *simplement* positives, c'est-à-dire sans réaction négative masquée, tandis qu'au contraire, en hypertonicité, les réactions négatives contiennent en général une réaction positive masquée, et que ceci peut, dans la pratique, donner lieu à des fluctuations.

Quant au changement de signe des réactions, ou *renversement*, il est banal, au cours des phénomènes vitaux. Ce renversement peut être soudain, surtout en apparence. Mais en opérant doucement, afin de pouvoir détailler les événements, on constate souvent un « passage » progressif des réactions du signe actuel aux réactions du signe opposé, par des réactions à *deux alternances*. La figure 145 représente de telles réactions séparées, successives, passant du signe *moins* au signe *plus*.

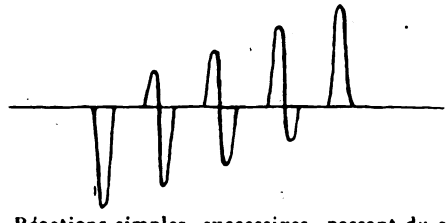


Fig. 145. — Réactions simples, successives, passant du signe *moins* au signe *plus* (schéma).

Supposons alors qu'au cours d'un épisode vital quelconque, la tonicité croisse continûment de la valeur zéro à une certaine valeur élevée, et que le diagramme correspondant aux variations d'amplitude et de signe des réactions (1) soit analogue au schéma (*fig.* 146).

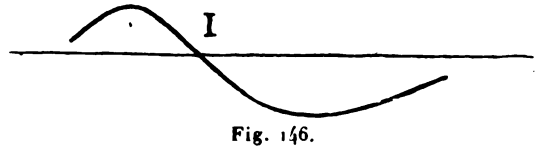


Fig. 146.

Rien n'y indique plus ni la différence entre la nature des réactions

(1) Il est entendu que la tonicité est une des *conditions* des réactions, mais non une cause. La cause est due aux apports d'énergie, venus du dehors. Le diagramme actuel indique la marche d'un épisode schématique, et ne spécifie rien d'autre.

Digitized by Google

positives et des réactions négatives, ni les alternances des réactions au voisinage du point I. La courbe est donc une indication abrégée. Abréviation très légitime, pourvu qu'on n'oublie jamais les détails qu'elle n'explicite pas, et pouvu qu'en interprétant la courbe, on ne lui demande que ce qu'elle peut donner. Tout *schéma*, d'ailleurs, se distingue *par là* du diagramme d'un phénomène particulier, directement enregistré.

Sur les propriétés de la matière vivante.

L'examen de la tonicité conduit à une remarque assez importante sur les propriétés de la matière vivante.

La matière vivante n'est isotrope [1] en rien, et une propriété donnée, tonicité, viscosité, ou quelque autre que ce soit, peut être locale, et affecter seulement un tissu, un organe, ou bien s'étendre à tout l'organisme, et imprimer une marque spéciale à toute sa manière d'être. En ce cas, elle n'est pas identique en chacun de ses points, et il s'agit alors seulement d'une moyenne. Enfin, elle peut même déborder l'organisme, et se retrouver, assez analogue, chez un grand nombre de ses voisins.

Ainsi, ce qu'on appelle, d'une manière compréhensive, la « nature » d'une propriété, ne dépend pas de son extension dans l'espace.

A l'égard de l'extension dans le temps, même remarque. Locale ou générale, valeur mesurable ou approchée, individuelle ou collective, une propriété donnée peut être le fait d'un moment, ou d'une étape dans l'évolution de l'organisme, ou de toute sa vie, ou même se prolonger au delà, et être transmise à ses descendants. Mais qu'il s'agisse d'un seul épisode, ou d'une vie entière, ou de plusieurs générations, rien ne s'oppose, en soi, à voir apparaître les mêmes normes.

Par exemple, on peut observer sur un individu humain, ou sur plusieurs individus : une rétraction localisée, de quelques heures ou de quelques jours, suivie d'un gonflement, de même localisation [2];

(1) Du grec : *isos*, égal; *tropos*, tour, puis direction, et manière d'être. Une matière isotrope a toutes ses propriétés égales en grandeur, direction et sens, en chacun de ses points.

(2) Dans chacune des trois catégories de phénomènes, les durées des expansions restent du même *ordre* de grandeur que celles des rétractions *correspondantes*, mais en subissant, d'une catégorie à l'autre, un accroissement notable.

Digitized by Google

une rétraction généralisée, de quelques mois ou de quelques années, suivie d'un gonflement généralisé ou « dilatation »; des générations d'individus « rétractés », suivies de générations d'individus « dilatés » (1). Et ces trois phénomènes peuvent avoir et ont, en général, une entière *parité d'allure*, et sont représentés par trois diagrammes du même *type*.

A certains égards, il revient au même, nous l'avons déjà noté, de parler de propriétés ou de réactions. Il résulte donc de la remarque faite maintenant que, *soit dans l'espace*, *soit dans le temps*, les *propriétés de la matière vivante*, ou *phénomènes de réaction*, *sont*, dans une mesure souvent fort large, *indépendants des questions « d'échelle »*.

Ce fait, qui n'était pas évident *a priori*, justifie l'emploi fréquent du singulier, en parlant des réactions, et, ce qui est plus important, permet de comprendre comment on peut *légitimement* passer — avec les précautions d'usage, cela va sans dire, mais plus aisément parfois qu'on ne pourrait le penser — des réactions simples de la Matière, aux réactions compliquées d'un organisme vivant, voire à celle des humains.

III. — Viscosité et variation du retour au zéro.

Le retour au zéro est la troisième des caractéristiques que nous devions considérer (2).

Le cas représenté par la figure 144 n'est qu'un cas moyen, au milieu d'une infinité, car dans toutes ses manières de se comporter, la matière vivante oppose au développement de ses réactions une résistance antagoniste, quelque chose qu'on ne saurait mieux comparer qu'à une viscosité fonctionnelle, et dont le modèle simplifié est la gêne opposée à un mouvement par des frottements (3).

---

(1) *Cf.* § 54, p. 63, la note (1), sur les termes « dilaté » et « rétractés ».

(2) Sous-entendu : concernant les réactions *simples*.

(3) Il s'agit donc seulement d'une analogie, et non pas d'une identité, qui serait d'ailleurs difficile à préciser, en l'espèce. Sans doute, y aurait-il lieu d'envisager aussi les analogies entre certaines fonctions de la matière vivante et l'*élasticité* et l'*inertie*, qui ne se confondent pas avec la *viscosité*, ni l'une avec l'autre. Mais ces dernières ne semblent pas devoir conduire à des modifications d'un *type* différent de celles dues à la « viscosité ». Les indications très résumées données ici pourront donc ne pas les considérer.

Digitized by Google

Lorsque cesse l'action incidente qui a provoqué une réaction, trois éventualités principales peuvent donc se présenter, suivant le degré de viscosité de la matière en cause.

Si la matière est de grande viscosité, le retour à l'état initial peut n'être jamais complet : il reste toujours une certaine distorsion résiduelle, indiquée au diagramme par la distance à l'axe horizontal, où s'est arrêtée l'extrémité de la partie descendante de la courbe.

Pour une viscosité moyenne, le retour peut être strictement complet, et « apériodique ».

Avec une viscosité encore inférieure, le retour vers l'état initial peut dépasser cet état, en sens inverse, puis y revenir, et faire une ou plusieurs oscillations, qui s'amortissent.

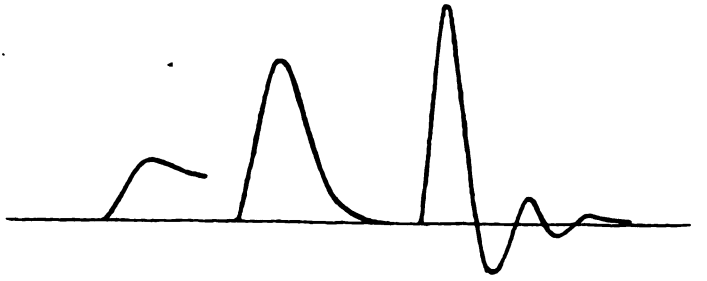


Fig. 147. — Trois types de retour au zéro, pour viscosité de valeur décroissante (schéma).

Retour incomplet, retour complet apériodique, retour oscillant amorti, tels sont les trois types du retour au zéro (*fig.* 147).

Remarque.

Le terme d' « amorti » ne s'adresse pas aux oscillations seules, mais à l'ensemble du phénomène modifié par le frottement : les trois diagrammes précédents, en entier, correspondent à un amortissement grand, moyen et faible.

Théoriquement, l'amortissement peut aller d'une valeur infinie à une valeur nulle. Mais la valeur nulle n'est pas possible dans les conditions actuelles. Plus loin, d'autres conditions en réaliseront les apparences.

Digitized by Google

Autre remarque.

On entend parfois nommer réactions « subséquentes » ou « secondes » les oscillations qui prolongent le retour complet au zéro, comme dans le troisième diagramme de la figure dernière. Mais cette distinction est seulement verbale, puisqu'elle ne correspond qu'à une différence de *degré* dans une transition continue, qui va de l'amortissement infini à l'amortissement nul. Aussi, nous tiendrons-nous à retour « oscillant ».

Une réaction peut subir deux séries fondamentales de variations.

Nous venons de parler de « transition continue », comme s'il s'agissait d'un seul et même phénomène, alors que nous avions affaire à des matières vivantes différentes, et de différente viscosité. Mais l'expression employée est quand même valable, parce qu'en raison des changements nombreux, subis d'un instant à l'autre par toutes les propriétés de la matière vivante, rien n'empêche, en soi, que les trois viscosités principales soient présentées, au cours du temps, par une seule et même matière.

Ainsi s'introduit la notion d'une première variation d'un phénomène de réaction, lorsque varie la propriété (intéressée) de la matière. (Ou lorsque varie le temps, puisque matière vivante et propriétés varient avec le temps.)

Une réaction peut aussi varier d'une autre manière. Dans ce qui précède, on a supposé une même action incidente, et des viscosités diverses, ou divers degrés de viscosité. Prenons maintenant une matière de viscosité constante, et appliquons-lui une action variable, dont l'intensité sera successivement de degrés divers. Non seulement la réaction variera aussi avec les différents degrés de cette intensité, mais on pourra, en outre, énoncer à son égard des conclusions analogues à celles de tout à l'heure : à la cessation de l'action, le retour au zéro sera, suivant les cas, incomplet, complet ou oscillant.

On peut donc énoncer, d'une manière générale : qu'une réaction peut subir deux séries de variations, les unes liées au degré des propriétés intéressées de la matière vivante (ou au temps), et les autres liées à l'intensité des actions exercées.

Digitized by Google

Et que, dans les deux cas, la réaction varie d'une manière analogue, c'est-à-dire que les variations des deux séries ont *même allure*, et seront, par conséquent, représentées par deux diagrammes du même *type*.

50. — LES DEUX ÉLÉMENTS PRINCIPAUX D'UNE RÉACTION.

Cela étant, nous sommes à même de définir et de situer d'une manière un peu plus précise les notions actuelles.

En Physiologie, on donne aux actions du dehors le nom générique d'*excitant*.

Une réaction, résultant de l'application, pendant une certaine durée, d'un certain excitant, est donc une fonction de deux variables, l'excitant et le temps.

D'un autre côté, l'énoncé qui termine le dernier paragraphe montre qu'une réaction est aussi bien une fonction de l'excitant et des propriétés de la matière.

Aucune incompatibilité ne sépare ces deux formules, ce paragraphe ayant montré l'équivalence des *rôles* joués par le temps ou par une propriété de la matière. Mais on peut encore ajouter ceci. On se place d'ordinaire dans des circonstances, et dans des conditions, où le Milieu est pratiquement indépendant du temps, tandis que la Matière vivante varie continûment avec lui. Temps et propriétés de la matière vivante sont donc si bien liés, que, dans les phénomènes de réaction, ils jouent, en effet, le même rôle, ou tiennent, si l'on veut, le même emploi. On est donc bien fondé à dire, au choix, que la réaction est une fonction de l'excitant et du temps, ou de l'excitant et des propriétés de la matière.

Excitant, ou actions du dehors, d'une part, et, d'autre part, *temps ou propriétés de la matière vivante*, apparaissent donc comme *les deux éléments* ou *groupes d'éléments principaux de toute réaction.*

On retrouve ainsi une distinction qui nous est familière.

Distinction opportune, mais toute relative à une certaine époque, parce que le Milieu n'est pas, en réalité, indépendant du temps. Si la durée des expériences ou des observations s'allonge, cette dépendance apparaît, et la distinction n'a plus de raison d'être. On l'a vu pour les phénomènes d'hérédité, ramenés à n'être que des conséquences d'actions anciennes et prolongées, de la part du Milieu.

Digitized by Google

La réaction particulière appelée : Forme.

On sait qu'en Mathématique, à toute fonction de deux variables, on peut faire correspondre une certaine surface, qui la « représente ». Chaque réaction de la matière vivante peut donc être représentée par une surface, et, comme une matière vivante (sans compter le Milieu) comporte un grand nombre de variables, il y aura une multitude de telles surfaces.

Il est d'ailleurs entendu qu'entre réaction et surface la correspondance résulte d'une convention toute spéciale, de sorte que ces surfaces n'ont pas, en général, d'existence objective, au sens ordinaire du terme. Mais imaginer de telles surfaces n'est pas exclusivement une vue de l'esprit, et nous avons dit « en général », parce qu'il y a une exception. En effet, pour une réaction particulière, la « surface correspondante » existe, et n'est autre, précisément, que la *Forme* de la matière considérée.

Cette définition un peu inattendue est en complète harmonie avec ce qui précède et avec ce qui suivra.

L'excitant est une action du milieu, et temps ou propriétés de la matière jouent le même rôle, avons-nous vu, de sorte que les deux éléments principaux d'une réaction et ceux d'une morphologie sont les mêmes. Depuis longtemps, d'ailleurs, nous avions indiqué que la Forme n'était que l'une des réactions de la Matière.

Mais il y a plus. Les réactions de la matière vivante sont synergiques (deuxième loi de Bose), et en particulier les *réactions morphologiques* sont synergiques des autres réactions.

On comprend donc pleinement pourquoi nous disions que la Forme et la Fonction sont partout directement liées, avec les conséquences qu'on en devine pour leur étude réciproque.

On comprend aussi pourquoi les lois dégagées de l'étude des réactions de la matière vivante sont la « clef » des faits constatés en Morphologie humaine, et pourquoi vouloir isoler la Morphologie, la séparer des sciences précises, ou, pis, l'opposer à celles-ci, est une proposition illusoire, et même davantage : une mesure toute contraire au but que l'on se propose d'atteindre.

En d'autres termes, s'il est vrai que l'étude des réactions physiologiques et que celle des formes aient tout à gagner d'une mutuelle

Digitized by Google

collaboration, il est néanmoins certain que la Morphologie trouve sa *raison d'être* dans la Physiologie, alors que la réciproque n'est pas vraie.

Ceci, d'ailleurs, n'atteint pas l'intérêt ni l'efficacité, en soi, d'une étude *générale* des Formes.

A l'exemple de la réaction particulière appelée « Forme », rien n'empêchera donc, si on le peut, et c'est souhaitable, d'étudier une « surface de réaction » par les moyens propres à l'étude des surfaces, de voir si cela suggère des indications que l'on n'eût pas aperçues autrement, et si les conclusions de l'étude sont intéressantes.

C'est d'ailleurs ce qui arrive en petit avec les diagrammes : chaque fois que l'on touche à l'un d'eux, on fait de la géométrie sans le savoir, ou sans le dire (1).

Les deux aspects principaux d'un phénomène de réaction.

Étant donné ce qui a été rappelé pour les fonctions de plusieurs variables, l'étude d'une réaction se fera en considérant ses deux aspects : l'un pour excitant variable et temps constant, l'autre pour excitant constant et temps variable. On a ainsi deux fonctions, d'une seule variable chaque fois. Elles sont appelées : *réaction à l'excitant* et *réaction au temps*.

Par exemple, la réaction d'une matière de viscosité donnée (2), soumise à une action d'intensité variable, est une réaction à l'excitant. Et la réaction d'une matière de viscosité variable, soumise à une action donnée, est une réaction au temps, d'après ce qui a été dit sur l'équivalence des rôles du temps et des propriétés de la matière.

Les réactions au temps sont de diverses modalités suivant que, pour une même valeur de l'excitant, on étudie l'effet de son application pendant une durée non interrompue, ou bien interrompue et périodiquement répétée, à fréquence rapide ou lente. Par exemple, la tétanisation physiologique, due à l'application répétée d'un excitant donné, est un cas de réaction au temps.

(1) Considérer un diagramme revient, en effet, à substituer, à l'étude directe de la surface, l'étude plus simple de telle ou telle de ses sections planes.

(2) Sauf spécification contraire, « donné » sous-entend : « une fois pour toutes », dans le phénomène considéré, c'est-à-dire : constant ou pratiquement tel.

Digitized by Google

Nous avons vu plus haut que le phénomène de réaction a *même allure* avec l'une ou l'autre de ses deux variables. Il en est donc ainsi de la réaction à l'excitant et de la réaction au temps.

Parité d'allure ne signifie pas identité, mais seulement mêmes caractéristiques principales et mêmes traits généraux dans la marche des variations. En examinant cette allure (au paragraphe suivant, 51), on peut donc ne parler que de *la* variable, au singulier, sans spécifier laquelle.

Mais si la question était autre, et plus particulière, on ne saurait se dispenser de la spécifier, à cause de la signification physique de toutes les données en jeu.

Réactivité.

Un des éléments importants d'une allure est sa vitesse. La vitesse avec laquelle varie une réaction est dite la *réactivité* de la matière considérée, pour la variable en jeu.

La réaction et la réactivité sont donc entre elles dans une relation bien définie. Tels sont, en mécanique, l'espace parcouru et la vitesse; en électricité, le potentiel et le champ; en biologie, l'adaptation et l'adaptabilité; en psychophysiologie, la sensation et la sensibilité; etc.

En raison de cette relation définie, il est souvent simple de déduire, de la connaissance d'une réaction, celle de sa réactivité. Mais la réciproque n'est pas vraie.

En langage mathématique, la réaction et la réactivité sont entre elles comme une fonction et sa « dérivée » première.

Les dérivées d'ordre supérieur au premier [1], ou réactivités seconde, troisième, etc., ont aussi une signification physique, mais l'exposé actuel n'en a pas besoin.

51. — ALLURE GÉNÉRALE DE LA VARIATION DES RÉACTIONS SIMPLES. FONCTIONS HARMONIQUES.

Le problème important est évidemment de trouver les liens, la raison d'être et la signification des principales caractéristiques des

[1] C'est-à-dire la dérivée de la dérivée première, ou dérivée seconde; pui la dérivée de la dérivée seconde, ou dérivée troisième; et ainsi de suite.

Digitized by Google

phénomènes de réaction, parce que l'interprétation des faits notés en Morphologie humaine en dépend.

Les indications données jusqu'ici ne permettent guère que de situer ce problème. Pour le résoudre, il faudrait connaître, dans tous les cas, la loi de dépendance entre la variable et la réaction provoquée, mais on n'en possède pas l'expression.

Toutefois, du mode de variation de la réaction se laissent dégager quelques résultats d'une assez grande généralité, et déjà fort intéressants.

Le principe de la recherche est le suivant. Soit choisie une variable (excitant, durée, viscosité, etc.) et soit une réaction, fonction de cette variable. A une valeur *a* de la variable, portée en abscisse, correspond une réaction élémentaire, dont l'amplitude *am* représente la valeur de la fonction (*fig.* 148). En prenant un nombre suffisant de ces réactions, rangées suivant l'ordre des valeurs successives de la variable, les sommets successifs, notés, décrivent une courbe, qui représente les variations de la fonction. Le détail de ces réactions (départs, retours au zéro, etc.) [1] peut intéresser une recherche ultérieure, mais, *pour le moment*, seule importe la trajectoire des sommets, et même importera seulement le type schématique de ces trajectoires.

En examinant de tels diagrammes, on retrouve d'abord, non sans surprise, car on ne pouvait, *a priori*, le prévoir, les trois types, déjà vus, d'un aller suivi d'un retour incomplet, ou d'un retour complet apériodique, ou d'un retour oscillant. Ici les courbes sont seulement plus allongées dans le sens horizontal, parce que la variation actuelle résulte, non d'une impulsion brève et isolée, mais d'impulsions renouvelées, voire même, à l'occasion, continûment appliquées.

On se rappelle que ces trois types correspondaient à un amortissement grand, moyen et faible. La limite du dernier cas, prévue, mais non vue alors, est un amortissement nul. On trouve ici ce quatrième type. Le troisième est caractérisé par une succession d'alternances, dont l'amplitude décroît progressivement, et dont les portées [2] s'allongent progressivement. Dans le quatrième, les portées

---

[1] Même remarque que pour la figure 146 (p. 27).

[2] La *portée* d'une alternance est le segment d'axe horizontal sous-tendu par elle.

Digitized by Google

continuent à subir le même allongement progressif, mais l'amplitude des alternances demeure égale. La figure 149 réunit ces quatre types.

Enfin l'allongement des portées peut aussi, comme l'amortissement, prendre, suivant les cas, des valeurs grandes, moyennes ou petites. Et à la limite, pour une valeur nulle, les portées aussi deviennent égales : les deux premiers types sont raccourcis, sans dénomination spéciale, le troisième est devenu *pseudo-périodique*, et

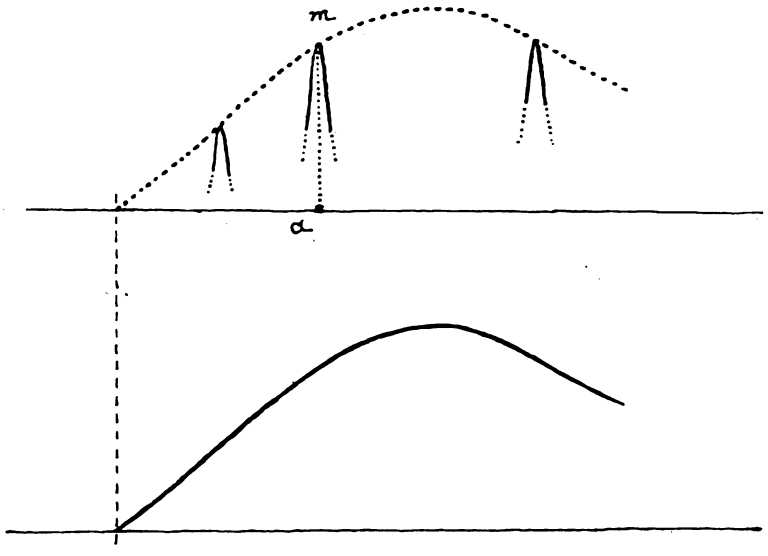


Fig. 148. — Variation des réactions simples (schéma).

le quatrième, *périodique*. La figure 150 est mise en regard de la figure 149, pour permettre de suivre la modification.

D'une figure à l'autre, le « passage » est évident, comme évidente aussi, dans chacune d'elles, la transition du premier type au dernier. Ces schémas ne sont donc pas indépendants, mais seulement des modalités d'un type plus général.

Ils ont d'ailleurs même allure que les diagrammes de certains phénomènes bien définis, *oscillatoires, amortis par une cause antagoniste, proportionnelle à leur vitesse.*

Parité d'allure, ou de type, n'est *pas* identité, et ne permet nullement de penser que les réactions de la matière vivante *soient*

Digitized by Google

de tels phénomènes. Au reste, la désignation donnée à ces derniers n'en concerne pas un groupe très particulier, car on la retrouve, avec des spécifications variées, dans les domaines les plus divers de la Physique : mécanique proprement dite, hydrodynamique, chaleur, acoustique, électricité, etc.

Il s'agit donc d'une relation très générale. Son expression mathé-

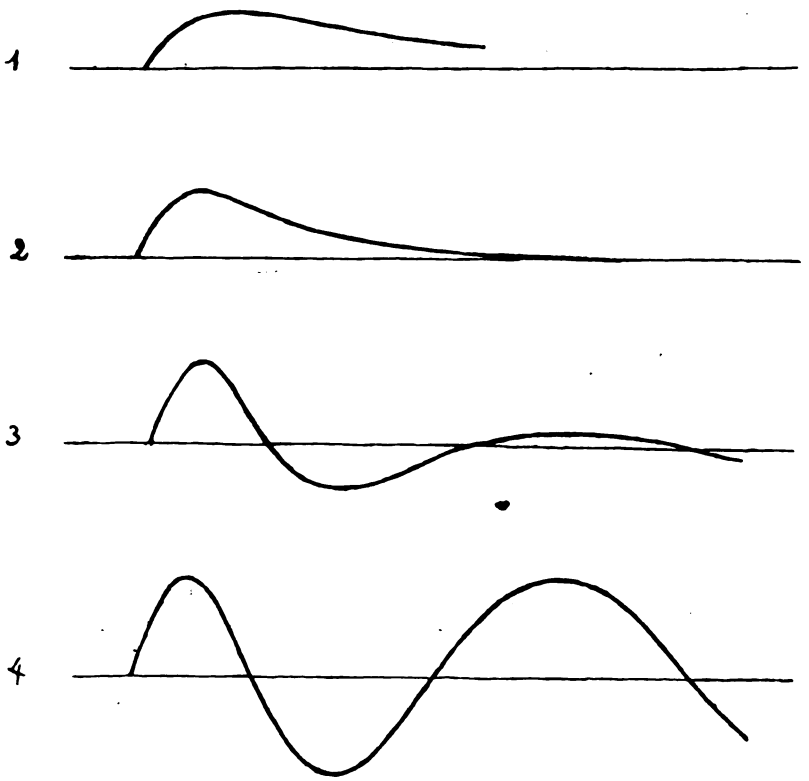


Fig. 149. — Quatre types, schématiques, de la variation de l'amplitude des réactions simples (allongement progressif des portées).

matique définit ce qu'on appelle, en cette science, certaines *fonctions harmoniques*.

Pour éviter de rien préjuger, nous nous tiendrons à ce dernier terme, et l'on dira que, sous certaines réserves, les variations des réactions simples de la matière vivante sont, dans leur allure, de même type que la variation de certaines fonctions harmoniques.

Digitized by Google

Ou encore que, sous certaines réserves, il existe une parité remarquable entre l'allure des phénomènes de réaction simple de la matière vivante et l'allure de certaines fonctions harmoniques [1].

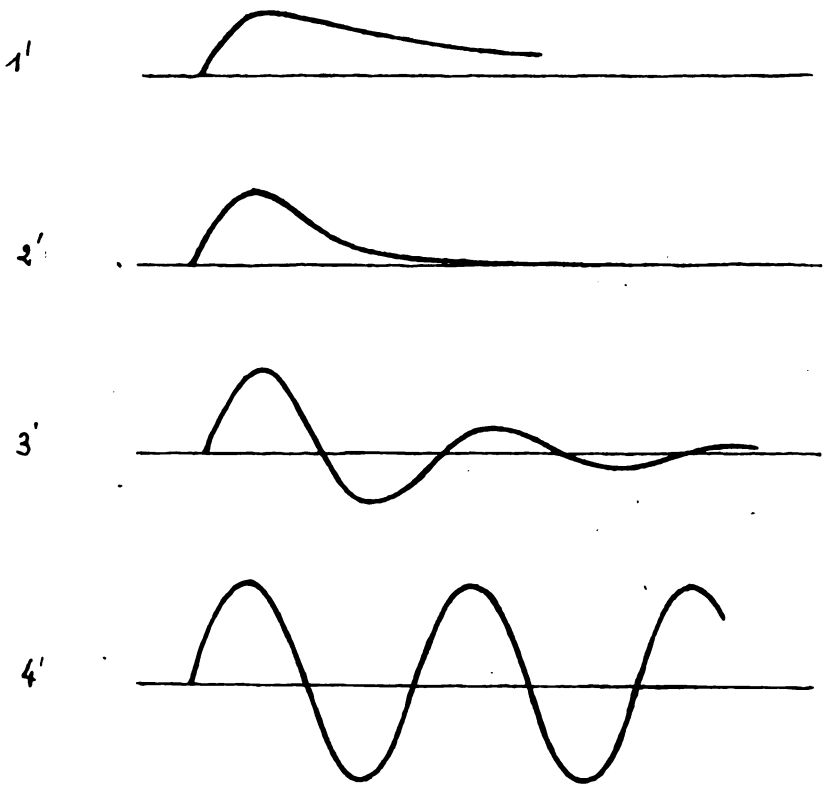


Fig. 150. — Types schématiques correspondants, pour un allongement nul.

Remarque.

Il est entendu que l'énoncé précédent n'englobe pas tous les cas possibles, et n'est qu'une approximation, soit que l'on se place dans des conditions assez réduites ou suffisamment simples, soit, au contraire, que l'on s'attache seulement à suivre, dans son

[1] L'expression « fonctions harmoniques » doit être prise exclusivement dans le sens qu'on lui donne en Physique mathématique.

Digitized by Google

enveloppe générale, le mode d'évolution d'un phénomène plus vaste.

Il est entendu aussi que l'on n'a pas encore les *spécifications* qui permettraient de préciser la correspondance entre les réactions de la matière vivante et les fonctions harmoniques, comme on a pu le faire entre celles-ci et les phénomènes physiques mentionnés plus haut. Pour le moment, on ne possède donc qu'une *indication* de recherches, et rien d'autre.

Mais ces réserves, jointes à celles déjà faites, et sans préjudice d'autres qui pourraient survenir, ne diminuent pas l'intérêt de l'énoncé obtenu, qui est un pas vers une explication possible, en rattachant à une notion commune des faits dont il était jusqu'ici malaisé d'apercevoir les liens.

Voici, par exemple, deux cas spéciaux de parité d'allure. Le premier a été déjà cité : les diagrammes donnant l'allure générale de la variation des réactions simples sont de même type que les diagrammes de ces réactions elles-mêmes. Le second est le suivant : si l'on prend un des diagrammes précédents, et qu'on examine les courbes de réactivités première, seconde, troisième, etc., le type reste le même. Or, l'un et l'autre cas correspondent à deux théorèmes connus, relatifs à certaines fonctions harmoniques, et *ont l'air* d'en être l'illustration directe.

Dans le même ordre d'idées, on peut signaler que, parmi les notions accompagnant celles d'oscillation, l'influence des impulsions qui exaltent, retardent, ou abolissent les oscillations, ou qui les entretiennent, ou qui les synchronisent, *semble* avoir une illustration biologique évidente, et l'on souhaiterait de pouvoir mieux préciser le détail de la correspondance entre les deux domaines.

Les modalités de certaines « réactions au temps » montrent à quel point cette analyse est désirable. Si l'on applique à une matière vivante non plus une impulsion brève et isolée, mais des impulsions renouvelées, d'intensité modérée, moyennement espacées dans le temps, diverses éventualités sont possibles, qui se présentent seules, ou se succèdent en s'enchaînant : l'amplitude des réactions successives atteint d'emblée sa plus grande valeur, puis décroît; ou bien elle part d'une valeur petite, croît peu à peu, atteint un maximum, puis décroît. Dans l'un et l'autre cas (1), les écarts n'ont plus lieu de part

(1) En général, et sauf exception, bien entendu, comme il arrive souvent avec la matière vivante, dès qu'on dépasse certaines valeurs de la variable.

Digitized by Google

et d'autre d'un axe horizontal, comme dans ce qui a été vu jusqu'ici, mais de part et d'autre d'une courbe. La figure 151 donne ces deux dispositions principales, avec la courbe, lieu des positions moyennes, ou ligne médiane des écarts, indiquée en pointillé : *voir* la première des trois lignes de la figure.

Si maintenant on augmente la fréquence des impulsions, le début

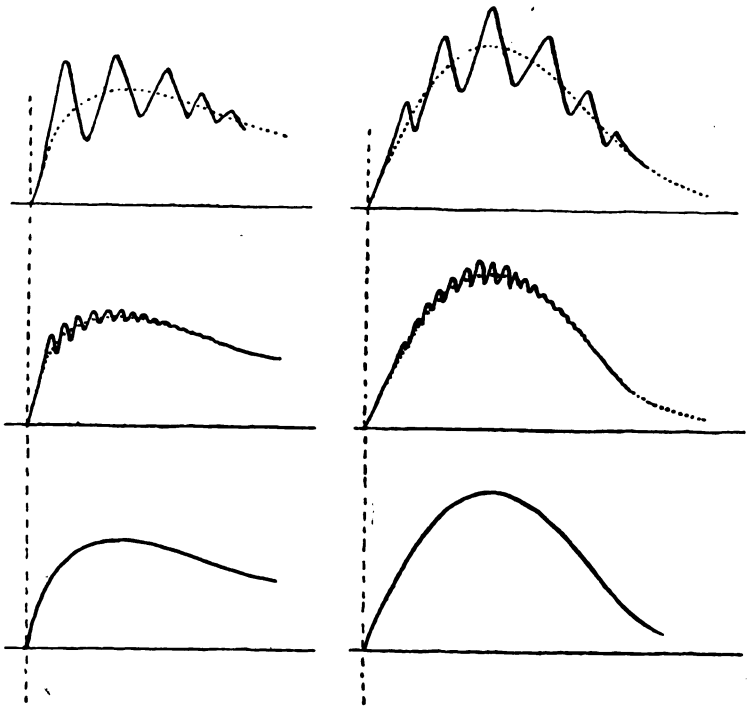


Fig. 151. — Fusionnement progressif des réactions successives (schéma).

de chaque réaction nouvelle a lieu avant que la précédente ait pu s'achever, et elles chevauchent partiellement l'une sur l'autre. Il en résulte que l'amplitude des écarts successifs, de part et d'autre de la « ligne médiane » diminue, et que le diagramme tout entier tend à se réduire à cette ligne. Et, en effet, pour une fréquence convenable, toute fluctuation apparente disparaît, les réactions successives fusionnent, et seule subsiste la ligne médiane en question (*fig.* 151) (1).

(1) Le tétanos physiologique, en ses diverses modalités, est un cas particulier du phénomène de fusionnement des réactions.

Digitized by Google

On dit encore que les réactions se composent, se superposent ou se somment. Qualitativement, ce phénomène évoque de très près, lui aussi, les opérations de même nom définies pour certaines fonctions harmoniques, mais une étude quantitative serait nécessaire pour savoir jusqu'à quel point cette assimilation est légitime, et je ne sache pas qu'elle ait été faite. Aussi, quelles que soient les présomptions de validité, garderons-nous, jusqu'à plus ample informé, le terme moins précis de « fusionnement ».

Ces phénomènes de fusionnement offrent un multiple intérêt. Grâce à la « viscosité fonctionnelle » de la matière vivante, ils permettent de suivre le passage progressif des réactions discontinues aux réactions continues, et enseignent à ne jamais considérer l'un des deux modes seulement. Ils montrent ensuite que, dans cette évolution progressive, la « ligne médiane » garde le même type, et ce type est manifestement l'un de ceux des figures 149 ou 150. Qu'il s'agisse donc de réactions isolées ou successives, et, pour ces dernières, de la trajectoire des sommets ou de la ligne médiane des écarts, discontinue ou continue, on retrouve la parité de type avec un diagramme défini.

L'examen des réactions multiples, suite naturelle des réactions simples, prête aux mêmes remarques.

52. — RÉACTIONS MULTIPLES. RÉACTIONS SPONTANÉES OU AUTONOMES.

Une impulsion brève et d'intensité *modérée* engendre *une* réaction *simple*, c'est-à-dire un écart à partir d'une position initiale, et retour vers elle. Si, pour une tonicité suffisante de la matière vivante, l'intensité de l'excitant dépasse un certain degré, on voit se produire non plus un écart, mais toute une succession d'écarts, de part et d'autre d'une position moyenne : d'où le nom de réaction *multiple*. L'amplitude des écarts successifs peut atteindre d'emblée sa plus grande valeur, puis s'amortir; ou bien croître peu à peu, passer par un maximum, et s'amortir ensuite. L'amortissement peut d'ailleurs être faible, et les écarts devenir pratiquement périodiques, pendant assez longtemps, autour de la ligne des positions moyennes, ou ligne médiane des écarts. Et cette ligne médiane,

Digitized by Google

comme précédemment, est encore l'un des types vus aux figures 149 ou 150 (*fig.* 152).

Mais, de plus, considérées en elles-mêmes, les alternances pseudo-périodiques ou périodiques appartiennent à la figure 150 : en passant des réactions simples aux réactions multiples, les diagrammes ne présentent donc pas de type nouveau, mais une combinaison ou association de types déjà vus.

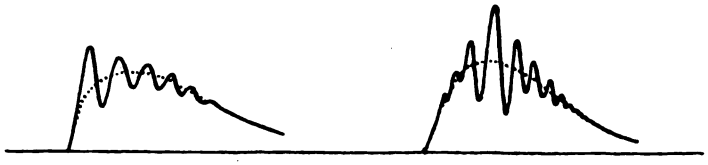


Fig. 152. — Réactions multiples (schéma).

On eût, d'ailleurs, pu faire une remarque du même genre, tout à l'heure, à propos des réactions au temps, alors que maintenant nous avons affaire à des réactions à l'excitant. Il ne nous étonne pas que les unes et les autres conduisent à des résultats de même espèce, puisque nous l'avions déjà noté à la fin du paragraphe 49. Aussi bien l'importance des réactions multiples n'est-elle pas là, mais dans ce fait qu'on peut passer d'abord, progressivement, des réactions simples aux réactions multiples, et ensuite, progressivement toujours, de celles-ci aux réactions dites *spontanées*.

Les réactions spontanées sont celles de la vie ordinaire, qui ont l'air de prendre naissance spontanément, et de continuer ensuite d'elles-mêmes, sans cause bien visible, et comme en vertu d'une propriété spéciale de la matière vivante. Aussi les appelle-t-on encore réactions *autonomes*, car elles peuvent persister fort longtemps, la vie même d'un organisme n'étant qu'une association synergique de telles réactions. Elles paraissent donc, au premier moment, assez différentes des réactions simples ou multiples, dont l'évolution est plus brève, et ne pouvait être allongée, avec limite, qu'en renouvelant les impulsions génératrices. Or, tel est précisément le cas, mais élargi, pour les réactions spontanées ou autonomes, qui ne sont autre chose que le résultat des actions, ou apports d'énergie incessants, du milieu. Bose, en particulier, a fort bien montré qu'il

Digitized by Google

suffit de faire varier le degré de tonicité de la matière en cause (1), pour voir les réactions multiples devenir autonomes, ou, inversement, celles-ci devenir multiples : ainsi se trouve justifié le « passage » progressif des réactions multiples aux réactions autonomes, énoncé à la fin de l'alinéa précédent.

Enfin, l'extension progressive qui fait passer des réactions multiples aux réactions autonomes n'introduit pas non plus de type nouveau d'évolution, mais fait retrouver les types déjà vus aux figures 149 ou 150, ou une combinaison ou association de ces types (2).

Les faits principaux de la Morphologie humaine en donnent des exemples. Les remarques suivantes y conduisent directement.

Remarque I.

SCHÉMA DE LA CROISSANCE.

Dire des réactions autonomes qu'elles sont un phénomène « qui continue » signifie qu'elles persistent et se répètent, sans amortissement appréciable.

Il ne faudrait cependant pas en conclure qu'un phénomène amorti, et même très amorti, ne puisse pas se renouveler et continuer. Ceci est exclusivement une question d'espèce. L'amortissement met, en effet, un terme à ce qu'on pourrait appeler un premier épisode du phénomène. Mais dans la nature (ou dans telles autres conditions appropriées), une matière vivante continuant à recevoir des énergies du dehors, rien ne s'oppose, en soi, à ce que prenne naissance, s'enchaîne au premier, évolue, et s'achève un second épisode tout pareil au premier, puis un troisième, et ainsi de suite. Le phénomène pourra donc, à l'occasion, se répéter, et continuer, tout aussi bien qu'un phénomène non amorti.

L'un de ces phénomènes est d'une importance toute particulière. Si l'amortissement est assez grand, le retour au zéro est incomplet, et

(1) Par le choix de la saison où l'on opère, ou, indépendamment de la saison, en faisant varier les conditions de lumière, de température, etc.

(2) Sans préjudice des réserves faites plus haut.

Digitized by Google

le diagramme s'arrête au-dessus de l'axe de référence (1); le diagramme du second épisode prend naissance en cet endroit, et s'achève plus haut encore; le troisième épisode plus haut encore; et ainsi de suite. Le diagramme du phénomène complet sera donc constitué par une suite de pulsations continûment ascendantes; et leur « ligne médiane », la trajectoire de leurs sommets, ou la courbe extérieure qui les circonscrit toutes (2), sont du même type qu'elles (3), ainsi qu'en témoigne le schéma (*fig.* 153).

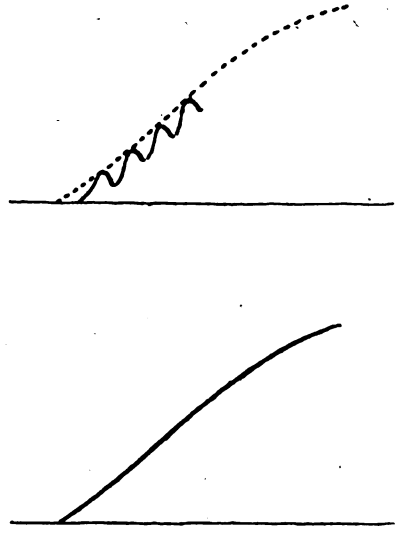


Fig. 153. — Pulsations de la croissance (schéma).

Ce diagramme n'est autre que le diagramme type des phénomènes de *croissance.*

Bose, en effet, a montré que, dans les tissus jeunes, les actions

(1) Sous-entendu : réactions positives.

(2) La trajectoire des sommets, et la courbe qui circonscrit les diagrammes individuels des réactions, sont proches l'une de l'autre, mais non confondues en général. Cette remarque aurait pu être faite dès le paragraphe 51 (p. 35), et est valable pour tout l'exposé actuel.

(3) A l'affinement près, bien entendu, ainsi qu'on l'a spécifié dès le début (§ 48, bas de la page 23), remarque valable également pour tout l'exposé actuel.

Digitized by Google

d'ensemble et d'intensité moyenne, venues du dehors, provoquent des variations périodiques de la turgescence, se traduisant par de petites pulsations. Ces pulsations voient leur « retour » gêné et partiellement arrêté par un précipité concomitant de matière vivante (avec ou sans formation de tissu de déchet), de sorte que leurs diagrammes successifs sont disposés en montant, comme dans la figure précédente, et cette disposition même indique une *expansion* d'ensemble, ou *croissance*.

Mais, diagrammes de ce genre et croissance ne sont pas exclusifs aux tissus jeunes. Un organisme adulte, et âgé, peut subir des

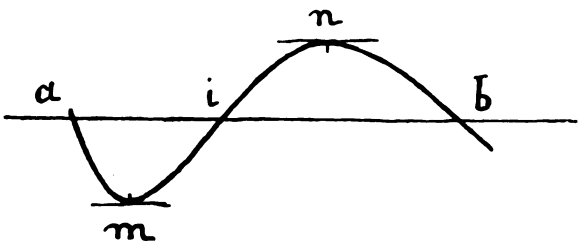


Fig. 15¼. — Rétraction suivie d'expansion, moins les pulsations de détail (schéma).

spasmes et des contractures avec stases (1), ou arrêts fonctionnels, suivis de distorsion, soit localisées, soit généralisées, et de modalités variées (2), avec nouvelle activité fonctionnelle. Sans doute, des différences individuelles les caractérisent et les distinguent de la croissance proprement dite, mais tous ces changements de forme résultent d'un processus analogue : pulsations de la turgescence, précipités divers, « retours » incomplets des pulsations et résultante finale en expansion. A ce point de vue, il revient au même de dire que la croissance est une tuméfaction opportune et heureuse, ou bien que la tuméfaction est une croissance intempestive et fâcheuse. Dans tous les cas, les diagrammes sont du type précédent.

---

(1) Du latin : *stare*, rester.

(2) Bosse simple, tuméfaction, tumeur, etc., pour un gonflement localisé; dilatation, pour un gonflement généralisé, etc.

Digitized by Google

Enfin, un diagramme descendant, au lieu d'ascendant, indiquerait des réactions de signe ou sens contraire, c'est-à-dire une *rétraction*.

Et une rétraction suivie d'expansion, comme la Morphologie humaine en offre tant d'exemples, se traduit par un diagramme à deux alternances, du type suivant, lorsqu'on ne conserve que la trajectoire des sommets, ou que la courbe circonscrite, *aminb* (*fig.* 154).

Remarque II.

EPISODE A DEUX ALTERNANCES. SCHÉMA. INTERPRÉTATION.

Il suit de ce qui précède que, des diagrammes donnés par les figures 149 à 152, les deux types 4 et 4′ (*fig.* 149 et 150) sont les seuls qui correspondent exclusivement à un phénomène « qui continue ». Tous les autres *peuvent* correspondre, soit à un phénomène complet, soit à un épisode seulement, dont la répétition liée constitue le phénomène complet.

Il suit également de là que les épisodes simples, dont la répétition et l'enchaînement constituent les deux types 4 et 4′ en question, sont évidemment représentés par leurs deux premières alternances respectives. Dans le type 4′, il y a juxtaposition horizontale périodique exacte. Dans le type 4, il y a aussi juxtaposition, mais avec allongement progressif des portées. Le schéma correspondant à un tel épisode, AMINB est pareil au précédent changé de signe (*fig.* 155).

Nous simplifierons les exposés à venir en donnant dès ici l'interprétation d'un tel schéma, indépendamment de toute particularisation, c'est-à-dire en laissant de côté la question de l'allongement, celle aussi du détail de ce qui se passe en A, au début des réactions, et en ne spécifiant rien au sujet de la nature des réactions dont on considère la variation.

Rappelons que la valeur nulle d'une fonction est dite *son zéro*. Ainsi, la fonction actuelle a trois zéros : pour les valeurs respectives de la variable, A, I, B.

Rappelons aussi que la *vitesse de variation* d'une fonction (ici : la *réactivité*) est représentée, à chaque instant, par la pente de la courbe, ou inclinaison de sa tangente sur l'axe horizontal (1).

(1) En termes plus précis : par la tangente trigonométrique de l'angle fait avec l'axe horizontal par la droite tangente à la courbe.

Digitized by Google

Enfin, nous tracerons des verticales pointillées au voisinage des zéros A, I, B, et nous distinguerons les trois régions (α), (β), (γ).

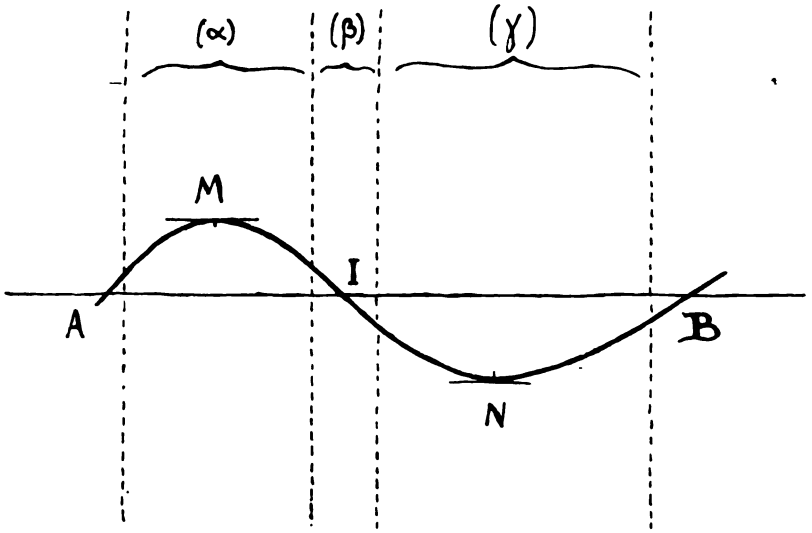


Fig. 155. — Épisode à deux alternances (schéma).

Région (α). — Les réactions commencent à se manifester, et croissent par valeurs positives : tonicité faible ou *hypotonicité*.

La variable continuant à croître, l'amplitude des réactions ne croît pas indéfiniment, mais tend vers un maximum M, et décroît après l'avoir atteint.

Le rôle du maximum négatif [1] N étant, au signe près, analogue au rôle du maximum positif M, nous reporterons à N ce que l'on pourrait dire de M, parce que la chose se fera plus efficacement après avoir vu ce qui se passe au point d'inflexion I.

On peut signaler, en passant, qu'en raison de la faible tonicité, les réactions qui ont lieu de A en M sont exclusivement positives; que de M en I elles peuvent contenir une réaction négative, masquée

[1] Un « maximum négatif » est, d'habitude, appelé un *minimum*. Mais ce terme pouvant suggérer intempestivement l'idée de moindre, ou de minime, je préfère garder ici « maximum négatif ».

Digitized by Google

ou non, et qu'après I, devenues négatives, elles contiendront une réaction positive, masquée ou non (loi de Bose [1]).

Région (β). — La tonicité tend vers une valeur moyenne, ou *mésotonicité*. Les réactions décroissent, s'annulent en I et se renversent, c'est-à-dire recommencent à croître, mais par valeurs négatives.

Dans le voisinage de I, les réactions, par leurs légères fluctuations, sont tantôt positives et tantôt négatives. De plus I est une inflexion, et un théorème connu apprend qu'en tout point d'inflexion la dérivée de la fonction, c'est-à-dire ici la réactivité, est maxima.

Ainsi, en I, les réactions sont discrètes, varient rapidement et changent aisément de signe.

Ceci entraîne une conséquence intéressante. Dans la région (α), l'énergie transmise était moindre que l'énergie absorbée. Maintenant, les deux quantités d'énergie sont devenues égales : pas de gain, mais pas de dépense. D'autre part, pour un organisme, varier avec le milieu, en même temps que lui, c'est être en équilibre *relativement à lui*, c'est le suivre en tous sens, c'est y être *adapté*. Mais, de plus, varier sans retard, puisque la réactivité est maxima, et varier sans effort, puisque la dépense d'énergie est nulle, c'est avoir atteint l'*adaptabilité* optima. Aussi bien a-t-on donné à l'inflexion I le nom d'*optimum* des réactions.

Il ne faudrait pas voir en ce terme, à cause de son sens, un superlatif toujours souhaitable. A l'égard de ce qu'on appelle dans le langage courant, la « valeur » d'un individu, une grande adaptabilité est une vertu des plus relatives. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

Région (γ). *Hypertonicité*. — Les réactions deviennent négatives, avec réaction positive masquée, ou éventuellement manifestée. Cette circonstance, jointe à l'hypertonicité, est une prime à la variabilité des réactions.

L'amplitude des réactions croît et tend vers un maximum N.

Dans le voisinage de ce maximum, si les réactions atteignent leur plus grande amplitude, celle-ci, en revanche, ne varie plus. Donc

---

[1] *Cf.* début du paragraphe 49 (p. 24).

Digitized by Google

réactivité, et, par conséquent, adaptabilité pratiquement abolies. La matière a subi une forte distorsion (tout comme en M), et ne manifeste pas autre chose qu'une forte tendance à revenir, avec dépense d'énergie, à l'état initial. Au rebours de I, où il y avait stabilité relative, puisque les réactions ne subissaient plus que des fluctuations autour d'une moyenne nulle, N correspond donc à une relative instabilité.

Certains auteurs réservent pourtant le terme d' « adaptation » à l'état représenté par le point N, ou par tout autre maximum, et à ces points seulement. Sans doute est-ce affaire de pure définition. L'attention de ces auteurs a dû être retenue par l'*apparence* d'équilibre propre à N. Mais cet équilibre est comparable à celui d'un cône matériel posé verticalement sur une table, la pointe en bas : songerait-on à voir, dans une position aussi instable, une « adaptation à la pesanteur » ? Ce serait une conception toute statique et artificielle, assez étrangère à la notion d'un corps ou d'un système *en mouvement*, telle qu'apparaît la matière vivante.

Pour nous, l'impossibilité où sont les réactions, en N, de varier autrement qu'en décroissant, et le côté précaire de cette situation, ne répondent guère à l'idée qu'on se fait d'une adaptation. Il nous semble même, au contraire, que « vivre » implique, avant tout, l'existence d'un équilibre relatif avec le milieu, faute de quoi subsister deviendrait vite impossible. Or, les actions du milieu varient sans cesse, et dans tous les sens. L'aptitude à vivre sera donc, pour la matière, fonction d'une certaine plasticité organique. L'adaptation ne sera pas le fait d'une minute exceptionnelle, mais celui de tous les instants. Elle est constituée par l'ensemble des phénomènes de réaction, permettant, de façon plus ou moins heureuse, l'équilibre en question. Et la vitesse de variation d'amplitude des réactions, ou, pour abréger, la vitesse de « la variation » qui rendra l'adaptation prompte ou lente, aisée ou difficile, caractérise l'*adaptabilité*.

Revenons au diagramme.

Au delà de N, l'amplitude des réactions diminue, puis tend à s'annuler en B. En ce point, qui marque la fin de l'épisode envisagé, la matière est dans une situation différente de celle en A, mais analogue en ceci que les réactions, après un nouveau renversement, pourront recommencer à croître, par valeurs positives.

Étant données les conditions énoncées au début du paragraphe,

Digitized by Google

en tous les zéros I, B, ..., il y a inflexion, mésotonicité, réactivité maxima, adaptabilité optima; de même qu'en tous les maximums M, N, ..., il y a tangente horizontale, hypo- ou hypertonicité, réactivité et adaptabilité nulles.

S'il y avait amortissement, comme pour les types 3 ou 3′ (*fig.* 149 ou 150, p. 38 et 39), diverses modifications surviendraient, mais il arrive cependant souvent que l'épisode considéré peut être pratiquement assimilé au précédent, et c'est pourquoi celui-ci a été analysé avec quelque détail. Le Tableau II résume cette petite analyse :

TABLEAU II.

RÉGIONS DU SCHÉMA	TONICITÉS.	POINTS DE LA COURBE	RÉACTIONS.	
			SIGNE.	AMPLITUDES.
(α).....	hypotonicité	...		croît
		M	> 0	maximum positif
		...		décroît
(β).....	mésotonicité	...	> 0	décroît
		I	$\gtrless 0$	0
		...	< 0	croît
(γ).....	hypertonicité	...		croît
		N	< 0	maximum négatif
		...		décroît

En anticipant sur le canton de la psycho-physiologie, il est intéressant de noter ici que les diverses phases de l'épisode envisagé ont un concomitant sensoriel. Des réactions dont l'amplitude croît sont accompagnées d'une impression d'élan. Cette impression s'atténue et s'évanouit lorsque l'amplitude cesse de varier, en un maximum. Et si l'amplitude décroît, l'individu éprouve de la fatigue.

Mais cet aspect du phénomène ne suffirait pas à le caractériser, parce que de M à I, par exemple, il y a fatigue avec gain relatif d'énergie, tandis que de N à B, c'est avec dépense relative. Ainsi deux sensations analogues peuvent correspondre à des états physiologiques différents.

La sensation n'est pas la seule donnée justiciable d'une telle remarque : dans un phénomène qui évolue, la place, rang, ou phase

Digitized by Google

d'une donnée importe avant sa valeur absolue. La sensation, d'ailleurs, ne nous fait pas plus percevoir les phases que les valeurs absolues, mais seulement des différences ou des rapports. Enfin, en l'espèce actuelle, la fatigue n'est que l'un des éléments du phénomène sensoriel, et nous avons parlé de sensations analogues, et non pas identiques, parce que sous le terme de « fatigue » sont groupés des états dont la tonalité spéciale peut être assez diverse. Bose, en particulier, a montré que les réactions positives étaient liées à une impression agréable, et les réactions négatives, à l'inverse, Cette circonstance « colorera » de manière différente les fatigues correspondant à MI et à NB respectivement. Il est d'ailleurs très facile de s'en faire une idée en songeant combien les fatigues, souvent extrêmes, des convalescences (avec gain d'énergie), sont différentes des fatigues d'un surmenage ou d'une dépression (avec perte d'énergie).

Remarque III.

HÉRÉDITÉ.

Soit un phénomène physique simple, dû à une cause impulsive constante, et dont l'évolution générale est représentée par un diagramme du type précédent (le type 4 de la figure 149, continué) : A I I' I'' (*fig.* 156).

Si, à un moment donné, I' par exemple, la cause impulsive cesse d'agir, le phénomène n'en subit aucun arrêt et continue, mais les portées de ses alternances sont désormais égales : il est devenu périodique. La figure 156 montre la correspondance entre les deux courbes.

Pour singulièrement réduit que soit le fait, on peut se demander jusqu'à quel point il serait loisible d'y voir l'image schématique du principe de l'hérédité : action d'une cause, cessation de l'action, continuation du phénomène, uniformisation relative, avec des alternances.

Ce principe de fond est compliqué, à chaque génération nouvelle, par l'apport du second géniteur, et, même aussi schématisé, le

Digitized by Google

phénomène complet résulterait donc de la combinaison renouvelée de deux phénomènes du type précédent. On sait, d'autre part, lors d'une telle combinaison, la grande diversité d'aspect du résultat, suivant les valeurs respectives de la période et de la phase des composantes. Toutefois, on y reconnaît aussi un caractère constant

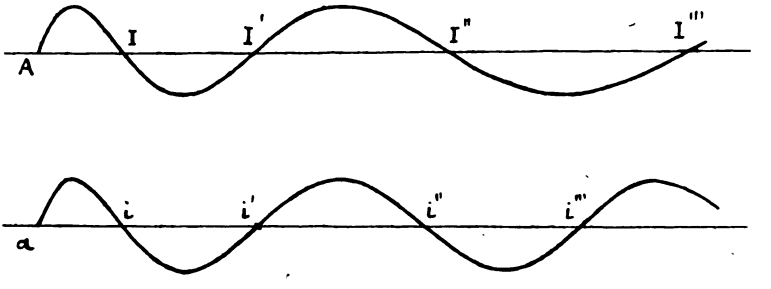


Fig. 156. — 1° : Diagramme d'un phénomène simple, alterné, à cause impulsive constante (allongement progressif des portées) (schéma).
2° : Suppression de la cause impulsive : continuation du phénomène, avec portées devenues constantes (schéma).

de périodicité et d'alternance, c'est-à-dire la répétition d'éléments pareils, de sens ou signes alternativement contraires, et ce caractère du phénomène pourra encore être exprimé par des schémas du type précédent.

Pour voir si l'assimilation proposée est légitime, on peut essayer de distinguer, dans la nature, l'influence, évidente dans le cas du schéma, du moment où la cause impulsive a cessé d'agir : en un maximum, en une inflexion, entre deux, etc.; et essayer aussi de retrouver non seulement la présence, la disparition et la réapparition d'une qualité, mais sa variation périodique alternée.

Il semble par exemple que l'on puisse noter, pour l'espèce humaine, des successions de types morphologiques, ayant lieu dans l'ordre suivant : dilatés, moyens, rétractés, moyens, dilatés, ... (désignations qui seront détaillées plus loin), et qui correspondent à la succession des états d'hypotonicité, mésotonicité, hypertonicité, mésotonicité, etc., vue au Tableau II. Mais les observations suffisantes manquent, et la question n'est pas résolue.

Digitized by Google

Remarque IV.

RELATIONS ÉVENTUELLES, PLUS PARTICULIÈRES.

La question précédente est d'analyse difficile, mais il en est d'autres où rien ne paraît devoir rendre spécialement malaisées les vérifications désirables.

Prenons, par exemple, les types 3 et 4, 3′ et 4′ (*fig.* 149 et 150) dans leur forme théoriquement parfaite, et en supposant, pour 3 et 4, une cause impulsive constante. Dans ces conditions, les portées sont constantes (3′, 4′), ou s'allongent progressivement suivant une loi quadratique (1); et l'amplitude des alternances reste constante (4, 4′), ou décroît suivant une loi exponentielle (2) (3, 3′).

Il ne manque pas, dans la nature, de cas où les éléments morphologiques se répètent à distance égale ou à des distances progressivement croissantes; et restent d'amplitude égale, ou dont l'amplitude décroît rapidement. Il serait fort intéressant de vérifier si la loi de variation des distances et celle de la variation de l'amplitude sont proches, respectivement, des deux lois précédentes, quadratique et exponentielle. J'ignore si on l'a fait.

(On prendra garde qu'on a déjà rencontré des lois exponentielles avec les spirales logarithmiques et avec les surfaces spirales. Mais c'étaient des lois de croissance et non de décroissance : si la chose est indifférente au point de vue géométrique, elle ne l'est nullement au point de vue physique, et ne permet pas l'assimilation *a priori* de l'un des cas à l'autre.)

En supposant que les mesures prises fussent favorables, il resterait à voir comment correspondent les variables, dans le cas théorique et dans la nature, et à voir si le schéma peut recevoir une interprétation biologique.

---

(1) Dans l'expression d'une loi *quadratique*, la variable figure au *carré*. Ainsi, dans la loi de la chute des corps, les espaces croissent comme les carrés des temps. Il en est de même ici pour les allongements des portées des alternances.

(2) Dans l'expression d'une loi *exponentielle*, la variable figure en *exposant*.

Digitized by Google

Dans un ordre d'idées analogue, une dernière remarque peut être ajoutée ici, mais à simple titre de rapprochement curieux : rien de plus, en l'état actuel de nos connaissances.

On prend une collection de figures planes de même espèce, où le rapport de deux éléments est évident et varié : par exemple, un même segment de droite, divisé en deux parties, de plusieurs manières, par un point; ou bien des rectangles de proportions variées; ou les ellipses inscrites dans ces rectangles (sans leur rectangle); etc. Puis on présente cette collection de figures (ou d'objets) à un grand nombre d'individus pris au hasard, et l'on prie chacun de désigner la figure de la collection qui plaît le mieux à son regard. L'expérience montre que la proportion qui rallie la majorité des suffrages est assez proche de $\frac{3}{5}$ ou, au centième près, est égale à

$$\frac{2}{\pi}.$$

A vrai dire, ce n'est pas ainsi que la chose est formulée d'ordinaire. D'habitude, on note que $\frac{3}{5}$ est très proche du rapport qui, dans tout pentagone régulier, lie les longueurs du côté et de la diagonale, ou $\frac{-1+\sqrt{5}}{2}$; on rappelle ensuite que, d'après une chronique de jadis, on avait établi, chez les Grecs ou chez les Égyptiens, un bol d'or merveilleux, à pied, dont les diamètres du pied et du bord supérieur étaient entre eux dans ce rapport $\frac{-1+\sqrt{5}}{2}$; et l'on donne au rapport trouvé en premier lieu (dont $\frac{3}{5}$ est une approximation) le nom de « rapport du bol d'or ». Certains parlent de « section d'or », ce qui n'a plus guère de sens (et « section dorée » ou « nombre d'or » non plus).

Mais les choses deviennent beaucoup plus simples si l'on pense à exprimer en nombre décimal $\frac{2}{\pi}$ et $\frac{-1+\sqrt{5}}{2}$. On trouve alors

$$\frac{2}{\pi} = 0{,}60,$$

$$\frac{-1+\sqrt{5}}{2} = 0{,}61,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire qu'au centième près ces deux rapports sont égaux et certainement indiscernables *à l'échelle des expériences mentionnées.*

Reprenons donc $\frac{2}{\pi}$

On n'a jamais pu, à ma connaissance, expliquer cette préférence du regard pour la proportion $\frac{2}{\pi}$, *dans les cas spéciaux constatés* [1].

Or, si l'on considère le type $4'$ de la figure 150, son modèle théorique parfait est la sinusoïde ordinaire, bien connue, et dans cette sinusoïde (*fig.* 157), on a la propriété géométrique

$$\frac{PM}{AP} = \frac{2}{\pi}.$$

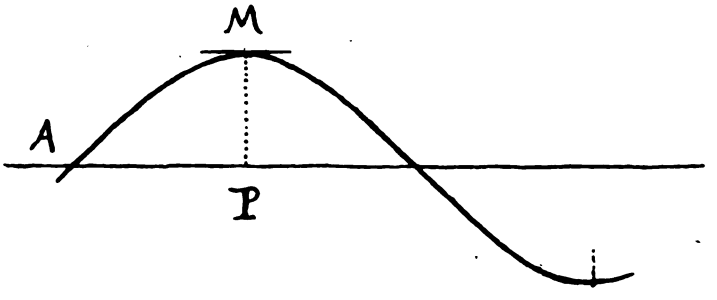


Fig. 157. — Sinusoïde ordinaire.

Est-on en droit de voir une relation quelconque entre ce fait géométrique et le fait physiologique; ou la rencontre est-elle purement fortuite ? Jusqu'à quel point un coup d'œil, donné à une figure aussi nue [2] qu'un segment de droite ou qu'un rectangle, peut-il être assimilé à une impulsion provoquant une réaction non amortie, au moins en son début, et dont le diagramme serait une sinusoïde ordinaire ? Supposons que ce soit le cas. Géométriquement, PM et AP sont des longueurs. Physiquement, PM est une longueur et AP est un temps. Même en sachant jusqu'où il peut être loisible de considérer comme analogues, ou de même espèce, les rôles joués par un excitant et par un temps, à quoi correspondraient, physiologiquement, les deux quantités PM et AP ?

---

[1] La constatation énoncée ne peut en effet s'appliquer à aucune figure autre que celles touchées par l'expérience : tant que la loi n'en sera pas connue, il ne pourra s'agir que de cas particuliers.

[2] C'est-à-dire ne prêtant qu'à une impression visuelle pure, et à rien d'autre.

Digitized by Google

Je n'ai la réponse à aucune de ces questions. Aussi, la remarque faite n'est-elle, pour le moment, comme il a été dit, que le simple relevé d'une coïncidence curieuse.

APPLICATION A LA MORPHOLOGIE HUMAINE.

53. — TYPES MORPHOLOGIQUES ET TONICITÉ. SCHÉMAS.

Les faits que distingue la Morphologie actuelle, et qu'elle groupe sous la dénomination compréhensive de *type morphologique*, ne concernent pas, comme en Ethnographie, un peuple seulement, ou une race, mais tous les humains du globe, ceux de jadis et ceux d'aujourd'hui. On peut donc ici parler d'*individus*, au pluriel ou au singulier, sans autre spécification.

Rappelons que le type morphologique est l'ensemble des caractéristiques morphologiques présentées par une certaine collection d'individus.

En tant que vertébré, un individu humain évolue en deux phases morphologiques principales. Pendant la première, alors que le squelette croît encore (jusque vers l'âge de 25 ans en moyenne), la forme de l'individu subit diverses expansions auxquelles participent tous les appareils organiques, et où les allongements prédominent sur les variations transversales. Pendant la seconde, à partir du moment où le squelette est achevé, la forme ne peut plus présenter que des variations transversales, accusées par le revêtement externe.

Dans l'une et l'autre phase, la forme résulte, comme toujours, de la combinaison des actions du dehors et des propriétés individuelles de la matière, et notamment de sa *tonicité*, d'où dépendent (§ 49, Lois de Bose) l'amplitude et le signe des réactions.

D'autre part, au même paragraphe 49, on a vu que la tonicité, comme toute autre propriété de la matière vivante, présente des variations locales et temporaires, mais que cependant, sauf en circonstances spéciales, le champ de ces variations est tel qu'un individu *paraît* doté, sa vie durant, d'une sorte de tonicité générale,

Digitized by Google

moyenne, qui imprime une marque particulière à toute sa manière de réagir. Ce qui permet de dire, *très grosso-modo*, qu'un individu « évolue en hypo-, en méso- ou en hypertonicité ».

Nous avons souligné « *paraît* » et « *grosso-modo* », parce que la tonicité n'a été définie que *relativement à un instant donné*, et qu'on ne peut appliquer ce terme à une vie entière, sans préciser le sens d'une telle extension. On peut même dire tout de suite que, *rigoureusement parlant*, un régime permanent de mésotonicité est déjà une éventualité théorique qui n'est jamais réalisée, et que celui d'hypertonicité est absolument impossible. Mais nous n'insisterons pas, *pour le moment*, sur cette question, d'ailleurs fondamentale, car nous y reviendrons à la fin du paragraphe 56 [1]. Sous la réserve formelle ainsi faite, la dernière phrase de l'alinéa précédent étant commode pour parler des faits à exposer, nous prions que l'on veuille bien l'admettre *provisoirement, à titre de première et fruste approximation.*

Cela étant, les lois de Bose et les remarques et schémas du dernier paragraphe (§ 52) tracent la voie et donnent la clef de la Morphologie humaine, car en les transcrivant en langage morphologique, on a l'illustration directe de ces prémisses, qui n'est autre, on va le voir, que la discrimination des types morphologiques, leur enchaînement naturel et leur raison d'être.

Les deux schémas (*fig.* 154 et *fig.* 155) joueront dans cet exposé un rôle important, parce qu'ils résument, respectivement, avec une assez grande généralité, des évolutions débutant, soit par des rétractions, soit par des dilatations. Une assez grande généralité, disons-nous, car suivant les spécifications relatives aux variables, ces schémas peuvent correspondre soit à un épisode localisé, soit à une époque du développement de l'individu entier, soit à une suite de générations successives. Dans le premier cas, un point du schéma indique en abrégé [2], résume, ou représente, une réaction plus ou moins simple ; dans le second cas, un point résume la caractéristique morphologique temporaire de l'individu entier ; et dans le troisième cas, un point résume la caractéristique morphologique d'une génération, c'est-à-dire de toute la vie d'un individu. Il s'agit donc, chaque fois,

---

[1] *Cf.* p. 102.

[2] *Cf.* la remarque faite déjà au paragraphe 49, à la fin des lignes sur la tonicité (p. 98).

Digitized by Google

d'une courbe différente, mais le *type* de la courbe reste le même (1), et les conclusions de l'analyse du premier cas (§ 52, Remarque II), par une transcription simple, s'appliquent directement aux deux autres. On peut donc, pour l'exposé, garder toujours la même courbe, mais en sous-entendant, pour chaque cas envisagé, les variables correspondantes. Nous ne reproduirons donc pas à nouveau les deux schémas (*fig.* 154 et *fig.* 155) : le lecteur n'aura qu'à s'y reporter, au cours des prochains paragraphes.

Peut-être eût-on pu indiquer ces deux schémas dès le paragraphe 49. Mais, à ce moment-là, il ne s'agissait encore que de réactions *simples*, et il fallait d'abord s'assurer qu'une transition progressive, sans coupure, allant jusqu'aux réactions *autonomes*, faisait rencontrer la même forme.

Malgré cette précaution nécessaire et cette assurance positive, on ne saurait toutefois, avant l'exposé qui va suivre, formuler assez de réserves. La correspondance entre Forme et Fonction n'est, en effet, nullement réciproque. C'est-à-dire qu'une même forme, ou qu'une même variation de forme, peuvent résulter de processus très différents (2), de sorte que *le fait morphologique*, tout en constituant une indication utile, *ne suffit jamais, lorsqu'il est seul, pour conclure* au fait *fonctionnel* (3). Cet avis a pu être donné dès le Chapitre I, et souvent répété depuis, mais nulle part il n'est plus nécessaire qu'ici, parce qu'aucunes réactions ne sont plus complexes à déchiffrer que celles du corps humain. C'est pourquoi, si l'exposé suivant est en accord avec le relevé de faits incontestables, d'un intérêt profond, et de fréquence assez grande, nombreuses cependant sont les exceptions pour lesquelles on n'a pas même l'ébauche d'une explication. Sans doute, la raison en est-elle dans les grosses lacunes signalées au début de ce Chapitre; mais un pareil état de la question doit incliner à n'y voir, jusqu'à présent, qu'un simple programme de recherches, et qu'une esquisse, d'ailleurs fort suggestive.

---

(1) Indépendamment du fait que nous n'avons noté que des *schémas*, et non des diagrammes particularisés.

(2) Nous l'avons déjà vu. Nous le verrons encore, au cours des paragraphes à venir.

(3) Pour avoir méconnu cette évidente et incontestable vérité, Sigaud et ceux qui se réclament de lui ont souvent été entraînés à des affirmations erronées.

Digitized by Google

54. — (α). HYPOTONICITÉ. TYPES DILATÉS.

En hypotonicité [perturbation **a** du paragraphe 49, première partie de la région (α) du schéma (*fig.* 155), voisinage du maximum M], les énergies sont absorbées et peu transmises. Réactions positives : turgescence accrue, croissance rapide, expansion générale ou dilatation d'ensemble de la forme. Adaptabilité faible.

Ces divers facteurs donnent à l'individu un développement simple, d'apparence régulière, avec une certaine exubérance, développement assez précoce, atteignant son plein épanouissement dès 17 ou 18 ans, par exemple, au lieu de 25 : *L'Aube*, œuvre charmante du sculpteur catalan J. Otero, est le portrait fidèle d'une jeune fille de ce type, qui avait près de 16 ans (*fig.* 158 et *fig.* 159).

On notera le visage peu expressif, et les modelés uniformément arrondis, sans déformation ni prédominance bien discernables.

Les questions de prédominance morphologique reviendront aux paragraphes suivants. Pour le moment, nous nous bornerons à rappeler que les proportions relatives des différents segments du corps humain varient beaucoup avec l'âge. Le tout petit enfant est remarquable par une grosse tête, un gros abdomen, un thorax cylindrique peu différencié et des membres courts. Le thorax et les membres s'accroissent notablement, par rapport aux autres segments, vers la 12^{e} ou la 13^{e} année ([1]). Finalement, vers la 25^{e} année, les divers segments ayant pris leur allongement définitif, on envisage, *comme cas neutre*, que le développement d'aucun d'eux n'attire plus particulièrement l'attention. Les schémas de Stratz résument ceci (*fig.* 160).

Ce cas « neutre » est plus ou moins théorique, mais pour les hypotoniques, il est réel : ceux-ci sont neutres morphologiquement, parce

---

([1]) *Cf.*, parmi d'autres, Dr APERT, *Hygiène de l'Enfance* (Paris, Baillère, 1924), et du même auteur *La Croissance* (Paris, Flammarion, 1921).

Digitized by Google

Fig. 158. — Hypotonicité. Modelés arrondis (Jaime Otero).

Digitized by Google

Fig. 159. — Hypotonicité. Modelés arrondis.

Digitized by Google

que peu adaptables. On verra, dès le prochain paragraphe, les liens directs de la prédominance morphologique avec l'adaptabilité.

Toujours en raison de la mauvaise adaptabilité, les variations morphologiques des hypotoniques ont surtout pour thème l'embonpoint, ou plutôt la corpulence, et les individus de ce type sont destinés à s'arrondir et à se dilater de plus en plus : types *dilatés* (1).

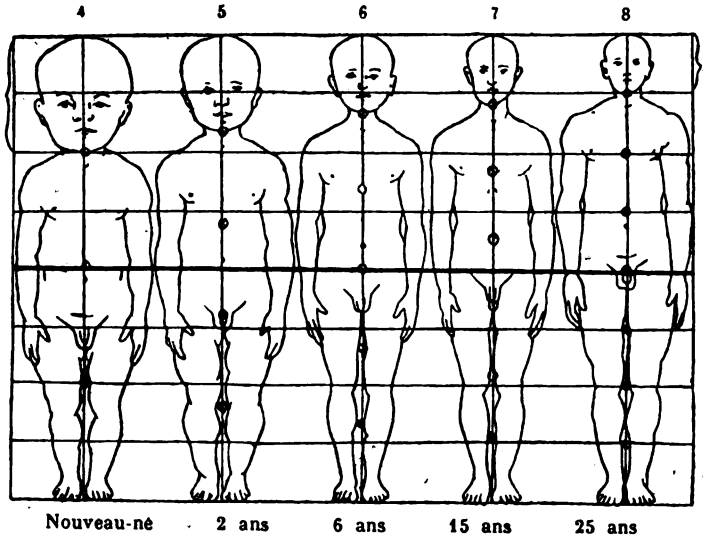


Fig. 160. — Proportions relatives des différents segments du corps aux différents âges (d'après Stratz).
Les chiffres de la partie supérieure indiquent combien de fois la tête est contenue dans la taille.

On rencontre pourtant des individus gros et arrondis qui ont des prédominances visibles. Mais ce ne sont pas des hypotoniques. Nous le verrons dans un instant, et plus loin encore.

---

(1) « Dilaté » et « rétracté » (que l'on verra plus loin) désignent ici une tendance et une modification *d'ensemble* de l'individu. Sous cette condition, ces deux termes correspondent à peu près à ceux de « gros » et de « mince », mais non pas forcément à ceux de « gras » et de « maigre », parce qu'on peut rencontrer, aussi bien, soit un revêtement adipeux enrobant un corps mince, soit un individu corpulent dépourvu de revêtement adipeux. Les dénominations de « dilaté » et de « rétracté » ne sont d'ailleurs pas exemptes de tout inconvénient, mais nous les gardons faute de mieux.

Digitized by Google

D'un autre côté, la dilatation des hypotoniques peut se trouver limitée, et même inversée, de différentes manières, et alors diverses *variétés* prendront naissance.

Variétés du type dilaté.

Il y a d'abord les fluctuations que subissent, dans leur ensemble, la plupart des phénomènes vitaux, et qui font alterner les signes — avec les signes +. Toutefois, le voisinage du maximum M est peu favorable à cette éventualité, à moins que d'autres circonstances n'y aident.

Telles seraient des actions intenses et brusques, venues du dehors, qui déclenchent une perturbation **t**, au lieu de **a** (première loi de Bose, p. 25). Plus généralement, toute valeur suffisamment élevée de l'excitant renverse le signe des réactions. On l'observe couramment, en cas de maladie. Mais déjà des influences sub-, ou prépathogènes, de grosses erreurs de régime, par exemple, suffisent pour amener, chez un dilaté, des phases de rétraction, qui pourraient même, à un examen superficiel, faire prendre l'individu pour l'un des types « rétractés » que l'on verra plus loin.

Enfin, un léger appoint de tonicité agirait dans le même sens. Tout en conservant une faible moyenne de tonicité, un individu peut avoir localement (segment, ou partie de segment, appareil organique, ou partie d'appareil) [1] une tonicité relativement élevée. En ce cas, sans avoir besoin de faire appel à des actions intenses et brusques, les mêmes valeurs d'excitant, qui font se dilater les régions de tonicité faible, feront se rétracter les régions de tonicité élevée. Ces dernières s'affaisseront, s'aplatiront en plages planes à raccords arrondis [2], puis se déprimeront en méplats légèrement concaves, à bords larges et adoucis [3].

---

[1] Sans choix privilégié : où que ce soit.

[2] Mentionnons qu'aux plages planes correspond la variété de transition *pseudo-polyédrique* arrondie.

[3] *Méplat* est pris quelquefois dans le sens de « plat », désignation vulgaire de « plan ». C'est une erreur. *Mé* dérive de *minus*, *moins*, et « méplat » signifie : ce qui n'est plus plat.

Digitized by Google

Ainsi, chez un même individu, ou d'une génération à la suivante, avec un léger accroissement de la tonicité moyenne, la variété à *méplats concaves* succède au type « uniformément arrondi », ou « exclusivement dilaté ».

Deux notions nouvelles accompagnent l'apparition des méplats concaves.

La première concerne l'ébauche d'une *prédominance morphologique.* Cette ébauche est une conséquence de la synergie des réactions (deuxième loi de Bose) : la diminution de la turgescence a pour concomitant le ralentissement de la croissance, aussi bien que la rétraction. Par conséquent, pendant la phase où l'individu croît, les régions à tonicité élevée se rétractent transversalement, et s'allongent moins que celles à tonicité faible, qui ne tardent pas à prédominer doublement.

De deux régions, c'est donc celle à tonicité moindre qui prédominera. La réciproque est-elle vraie, c'est-à-dire, de deux régions, la prédominance de l'une d'elles indique-t-elle *toujours* une tonicité moindre ? S'il s'agit de la phase de croissance où s'établit la prédominance, la réponse n'est pas douteuse. Mais ensuite ? L'achèvement de la croissance, qui va « fixer » la prédominance, fixera-t-elle aussi la différence des tonicités, ou tout au moins son signe ? La tonicité, comme toute autre propriété de la matière vivante, varie avec le temps, mais rien, en soi, ne s'oppose à ce que deux tonicités variables gardent une différence de même signe. En fait, il semble même que ce soit souvent le cas, et qu'un régime d'échanges une fois établi tende, en gros, à durer. Mais il y a des exceptions, qui ne semblent pas rares non plus. Alors, dans ces cas contraires, le jeu des variations transversales (allongements fixés) suffirait-il pour distinguer les régions dont la tonicité décroîtrait jusqu'à rejoindre la faible tonicité de la région d'abord prédominante ? On n'en sait trop rien, parce que l'étude de la tonicité n'est pas faite. La question posée reste donc en suspens. Nous y reviendrons, par une voie un peu différente, aux paragraphes 55 et 56, où la notion de prédominance se précise davantage.

L'absence de l'étude de la tonicité n'est pas préjudiciable à la question précédente seulement. Le caractère de *toutes* les réactions de l'individu est lié à l'état de sa tonicité locale et générale. La connaître est nécessaire pour compléter une estimation qualitative

Digitized by Google

par un élément de mesure, base de toute science et condition de son avenir. Privée de cette donnée exacte, la Morphologie humaine ne peut avoir, en bien des points, ni définitions *ne varietur*, ni éléments précis de contrôle et de comparaison. Aussi ses examens sont-ils encore, à l'heure actuelle, d'une extrême incertitude, et se présentent-ils comme une ébauche intéressante, mais qu'on serait hors d'état de conduire plus loin. On conçoit donc, à la fois, nos réserves répétées, et l'espoir mis en l'étude de la tonicité.

La seconde notion nouvelle indiquée par l'apparition des méplats concaves est celle de la *succession* des types morphologiques, ou, mieux, du « passage » progressif et continu d'un type au suivant. Ceci résulte directement de l'interprétation du schéma (*fig.* 155) confirmée par l'expérience. Dans ce schéma, l'accroissement donné à la tonicité nous a fait quitter le voisinage de M, et nous rapprocher de la région (β). Si le cheminement vers (β) s'accentue, on rencontrera de petites réactions négatives (1), en nombre croissant. Ceci veut dire que les méplats concaves, d'abord rares, surviennent en nombre croissant. Rares, ils pouvaient être assez étendus; nombreux, ils se limitent mutuellement, et deviennent d'autant plus petits. S'ils sont rares, la variété correspondante est encore proche, dans toutes ses qualités, du type dilaté caractéristique. Nombreux, ils font pressentir un type où les parties convexes et les parties concaves s'équivaudront en nombre et en étendue, et, par conséquent, où ne prédomineront ni les unes ni les autres. Entre deux, toutes les variétés de transition possibles.

Ici se poserait encore la question de la « fixité » relative du type morphologique. Il est certain qu'un hypotonique simplement arrondi peut acquérir des méplats concaves, et qu'un autre hypotonique ayant quelques méplats peut en acquérir davantage. Mais dans quelles limites peut se faire la variation ? La question est sans doute difficile à préciser. Du moins ne l'a-t-elle pas été. Et l'on se borne à dire que les chances de variation sont d'autant plus grandes que l'individu est plus jeune; que d'ailleurs les limites de la variation sont assez étroites; et que lorsqu'un individu est nettement hypo-, méso- ou

(1) Éventuellement masquées, dans le cas des réactions simples; facilement manifestées, dans le cas des réactions multiples, et, plus encore, dans le cas des réactions autonomes.

Digitized by Google

hypertonique, il le reste : rien que d'assez connu déjà, ou d'assez facile à prédire, comme on voit.

55. — (β). MÉSOTONICITÉ. TYPES MOYENS.

En mésotonicité [région (β) du schéma], la quantité d'énergie transmise est égale à la quantité absorbée. Le point I, caractéristique de la région, est à la fois « zéro » pour la fonction, et point d'inflexion : réactions minimes, réactivité maxima. Les réactions ne subiront donc que des fluctuations petites et rapides, qui les feront aisément changer de signe, sans dominance de l'un ou de l'autre signe. Adaptabilité maxima.

En conséquence, la croissance de l'individu et toute son évolution seront lentes, longues, sans changements brusques ou considérables (1), parce que la forme ne subira que de faibles variations autour d'un type moyen de développement (le type « neutre »), sans qu'on y voie dominer ni dilatation ni rétraction, ni même se dessiner nettement une dilatation ou une rétraction proprement dites, c'est-à-dire analogues, les unes à celles des hypotoniques, les autres à celles des hypertoniques. On exprime parfois tout ceci en disant que l'évolution de l'individu est « régulière ». Ce terme a déjà été employé au paragraphe 54 (début du deuxième alinéa). Il n'a pas grand sens, parce qu'il ne correspond à aucune définition précise. Il veut dire simplement qu'aucun incident important ou spécial ne vient marquer le développement de l'individu, ni chez les hypotoniques, parce que la dilatation affecte l'ensemble de l'individu et le rend uniforme d'aspect, ni chez les mésotoniques, parce que tout s'y passe d'une manière lente et progressive et qui demeure discrète. Ces derniers sont de ceux dont on dit, dans le langage courant, qu'ils ne changent pas, et restent toujours pareils à eux-mêmes.

On entend par là que la physionomie de chacun s'écarte peu d'un certain gabarit moyen, personnel cela va sans dire, mais qui, lui-même, s'écarte assez peu du type moyen, ou neutre, de développement. Tonicité moyenne, Morphologie moyenne : types *moyens*.

Si aucune autre donnée ne venait influer sur leur développement,

(1) Il va de soi que partout ici le cas de la maladie doit être considéré à part.

Digitized by Google

les types moyens seraient donc, dans leur genre, aussi uniformes d'aspect que les types dilatés. Mais ils possèdent une qualité nouvelle, l'adaptabilité optima, et grâce à elle leur morphologie pourra devenir discrètement mais nettement diverse. En effet, les deux groupes d'éléments principaux d'une morphologie sont les propriétés individuelles de la matière et les actions du milieu. Il est clair qu'avec une matière peu adaptable (en hypotonicité) les actions du milieu n'auront qu'une influence d'ensemble, des résultats peu différenciés, et que les propriétés individuelles de la matière occuperont toute la scène. Au contraire, avec une matière très adaptable, c'est l'inverse qui aura lieu : la matière n'a plus, pour ainsi dire, de tendances personnelles, et ce seront les actions du dehors qui joueront tous les premiers rôles.

A priori, les appareils organiques qui permettront de saisir au mieux ces actions seront ceux qui ont, à la surface même du corps, un contact direct avec le milieu extérieur. En fait, les observations sont surtout aisées avec quatre d'entre eux, les appareils : *digestif*, *respiratoire*, *musculaire* et *cérébral*. (Il nous arrivera d'écrire : appareils D, R, M, C.)

Chacun des quatre appareils considérés subit l'influence de toutes les énergies du dehors, mais il réagit plus particulièrement à certaines d'entre elles [1] : l'appareil digestif à des énergies chimiques (solides et liquides), l'appareil respiratoire à d'autres énergies chimiques (gaz), l'appareil musculaire à des énergies mécaniques proprement dites, et l'appareil cérébral à des énergies rayonnantes [2]. On donne le nom de *régimes* à ces quatre variétés d'apports énergétiques. Il n'est pas possible d'évaluer exactement ces apports, et de préciser leur égalité ou leur équivalence. Deux régimes peuvent d'ailleurs varier dans des limites assez étendues sans cesser d'être pratiquement équivalents. Mais au delà de certaines limites on note aisément, sinon la valeur propre, du moins le sens de l'inégalité de deux régimes, et l'on distingue bien un régime abondant d'un régime pauvre.

Alors, quatre éventualités principales peuvent survenir : les quatre

---

[1] A celles qu'il incarne (*in carnem* : dans la chair). *Cf.*, en particulier, et sans préjudice d'autres, pour le mouvement et le muscle, le très remarquable Chapitre du Mémoire de Houssay sur les Poissons, cité plus haut.

[2] Y compris les rayonnements dus aux autres êtres vivants.

Digitized by Google

régimes sont pratiquement équivalents; trois d'entre eux sont équivalents, le quatrième étant nettement prédominant; deux régimes équivalents, « mineurs », sont dominés par les deux autres; l'un des régimes est dominé par les trois autres. Et à ces quatre éventualités correspondra la formation de *variétés* successives du type moyen, entre lesquelles, bien entendu, toutes les transitions peuvent exister.

Variétés du type moyen.

1° Si les quatre régimes sont pratiquement équivalents, il ne se produit rien de nouveau : les développements respectifs des quatre appareils correspondants seront équivalents aussi, et il en résultera le *type moyen proprement dit*, ou encore *indécis*, parce que dénué d'une prédominance quelconque.

2° Dans la seconde éventualité, l'un des régimes prédomine nettement : alimentation très abondante et riche; vents fréquents, habituels, vifs; travail mécanique soutenu; vie toute consacrée au labeur intellectuel. Or, les lois de Bose enseignent qu'une action générale, modérée, lente (soutenue), se traduit par une absorption d'énergie, par une croissance plus rapide, par une expansion de la forme. Si donc l'un des régimes prédomine, la morphologie de l'appareil correspondant prédominera aussi : abdomen imposant, thorax petit, membres courts; grand thorax allongé, abdomen petit, membres fuselés; membres au dessin bien accentué, attachés à un tronc où s'équivalent thorax et abdomen; tête puissante, tronc et membres relativement effacés. Ainsi se constitueront quatre *variétés* du *type moyen :* variété *digestive*, variété *respiratoire*, variété *musculaire* et variété *cérébrale*. Pour abréger, on dit parfois : type digestif, type respiratoire, type musculaire et type cérébral. Mais ces expressions ne sont pas heureuses, parce qu'il ne faut jamais oublier que la prédominance morphologique d'un mésotonique est chose essentiellement discrète, et s'écarte peu d'un gabarit *moyen*, ou type, qui doit toujours être sous-entendu et non confondu avec ses *variétés*.

Bien que, chez un mésotonique, c'est-à-dire dans une matière où l'adaptabilité est optima, l'hérédité joue un rôle relativement secondaire, elle n'est jamais négligeable, et il n'arrive peut-être pas qu'en

Digitized by Google

une seule génération, *ex abrupto* pourrait-on dire, on puisse assister à la genèse de l'une des variétés précédentes. Mais il est clair que si des générations successives restent soumises au même régime prédominant, la « variété » s'affirme bientôt. L'observation le vérifie aisément. Le *digestif* se trouve, en effet, dans les pays où l'alimentation est abondante et riche, le travail facile, la vie sédentaire : en Flandre. en Normandie, etc. Le *respiratoire* domine chez les nomades, chez les montagnards, chez certaines populations côtières. On en verra, tout à l'heure, un exemple caractéristique. Le *musculaire* se rencontre beaucoup parmi les agriculteurs, dans les contrées où le travail est dur, la culture difficile, d'un rendement peu élevé. On le rencontre aussi, de plus en plus fréquent, chez les citadins adonnés aux sports. Le *cérébral* résulte d'une civilisation avancée. Les crânes du Muséum montrent qu'il en existait de très nets, en Égypte, à l'époque des Ptolémées. Plus près de nous, des penseurs et des savants offrent des prédominances cérébrales manifestes.

La notion nouvelle des variétés du type moyen se précisera, dans un instant, par quelques détails, par des figures, et par l'indication de correspondances fonctionnelles intéressantes. Mais achevons d'abord la mention des éventualités venant après les deux premières.

3° Celle que nous quittons comporte trois régimes équivalents « mineurs » et un régime prédominant. D'où les quatre variétés : D, R, M, C. L'éventualité suivante comporte évidemment deux régimes équivalents, mineurs, dominés par deux autres. D'où deux appareils relativement effacés et deux appareils prédominants.

Si les deux appareils prédominants sont de même importance, six variétés morphologiques sont possibles, DR, DM, DC, RM, RC, MC, où l'ordre des lettres est indifférent.

Si les deux appareils prédominants sont d'importance nettement inégale, on conviendra de noter toujours en premier, ou toujours en dernier, l'appareil prédominant. On aura donc six premières variétés, correspondant aux six désignations précédentes où l'ordre des lettres ne sera plus indifférent, et six autres variétés, correspondant à une permutation des lettres : RD, MD, CD, MR, CR, CM. Une ou deux illustrations fixeront ceci tout à l'heure.

4° Dans une quatrième et dernière éventualité, l'un des régimes est dominé par les trois autres.

Si ceux-ci sont équivalents, il y correspond quatre variétés, d'as-

Digitized by Google

pect indécis, se confondant pratiquement avec celle de l'éventualité 1°.

Si deux de ces trois régimes sont équivalents, dominés par le troisième, il y aura douze variétés, dotées d'une prédominance reconnaissable, et qui, à ce point de vue, nous ramènent pratiquement à l'éventualité 2°.

Enfin, si aucun de ces trois régimes n'est équivalent à un autre, chacun des quatre régimes a une importance nettement diverse. Il s'ensuit quatre degrés bien distincts pour l'importance morphologique des appareils correspondants. En notant les appareils, par degré décroissant, de toutes les manières possibles, on trouve vingt-quatre variétés. Rien, *a priori*, ne s'oppose à leur réalisation, mais en fait, on ne les rencontre guère, parce qu'un régime peut recevoir d'assez grandes modifications avant que l'appareil correspondant accuse une variation notable. Il ne sera donc pas facile de trouver quatre régimes dont les degrés respectifs seraient assez distants pour que les appareils D, R, M, C prennent quatre degrés d'importance bien distincts. D'ailleurs l'attention serait surtout attirée par les deux premières prédominances, et nous serions en présence d'une éventualité analogue à 3°.

Aussi, dans la pratique, n'a-t-on guère à observer, en dehors des variétés indécises (dont nous ne dirons rien), que deux prédominances morphologiques, ou même une seule. Et ce dernier cas contient, en somme, virtuellement, tous les autres. Nous compléterons donc un peu les indications, plus que sommaires, données à son endroit.

Les quatre variétés D. R. M, C, et les traits du visage

Un exposé complet de Morphologie humaine demanderait, pour chaque variété, la description minutieuse du corps entier. Mais pour nous, c'est-à-dire pour illustrer les notions générales résumées en la première partie de ce Chapitre, il suffira de l'analyse du visage, où chacun retrouvera des données familières, mais non encore considérées de la sorte.

Indépendamment de son revêtement musculaire varié, le visage a trois étages, en relation directe avec les trois autres appareils : la mandibule, étage digestif; le nez et les pommettes, étage respiratoire; les yeux et le front, étage cérébral. Et lorsque, dans un individu,

Digitized by Google

prédomine franchement l'un des quatre appareils D, R, M, C, il prédomine également dans la face, et il y prédomine non seulement par ses dimensions et par la multiplicité de ses accents, mais aussi par l'intensité de sa mimique.

En parlant familièrement, on peut dire : le digestif est tout en mandibule, et lorsqu'il parle, il a encore l'air de manger; le respiratoire est tout nez, ou tout pommettes, et ses narines palpitent; chez le musculaire tout remue, à tout propos, du menton aux cheveux; chez le cérébral, les yeux rayonnent et le front se ride.

Schématiquement, vu de face, le visage du digestif est un triangle, avec la partie large en bas; celui du respiratoire est en losange, étroit en haut et en bas, élargi aux pommettes; celui du musculaire est un rectangle; et celui du cérébral est encore en triangle, mais avec la partie large en haut.

Fig. 161. — Mésotonicité. Variété digestive.

Les bons artistes sentent très vivement toutes ces caractéristiques, et les soulignent d'instinct, sans rien savoir de la Morphologie actuelle, bien entendu.

Dans l'œuvre considérable de Mme M. Burnat-Provins se trouvent, entre autres, plusieurs centaines de têtes fort expressives, portraits des habitants d'une ville de rêve, que le peintre s'est plu à imaginer. Elles constituent une remarquable iconographie morphologique.

Une nourrice, aux masséters volumineux sous des contours arrondis,

Digitized by Google

est une *digestive* évidente, avec tendance à la « dilatation » (*fig.* 161).

Le jeune modèle qui a servi à J. Otero pour son *Aube* (*fig.* 158, p. 62) possédait aussi une prédominance digestive, beaucoup moins accusée, il est vrai. On note cependant le bas du visage déjà lourd, et l'accentuation naissante de l'abdomen, sinon par ses dimensions, du moins par cette ligne transversale incurvée, encore délicate. Mais plus tard... Indépendamment des dimensions, l'accentuation morphologique, c'est-à-dire la présence et la multiplicité de grands ou petits accidents de la forme, est maxima au niveau de l'appareil prédominant : Aussi l'indication précédente n'a-t-elle de sens que parce que, dans ce modèle, rien ne vient souligner l'un quelconque des trois autres appareils organiques.

La variété *respiratoire* se divise en deux sous-variétés, appelées familièrement : type « nez », et type « pommettes ». On devine pourquoi. Les deux sous-variétés présentent des narines bien marquées et très

Fig. 162. — Mésotonicité. Variété respiratoire.

mobiles. Dans la première, le nez est particulièrement long et proéminent. Nous n'avons pas ici d'image de ce type à l'état pur. Plus loin, on en trouvera, mais accompagné d'une seconde prédominance. Dans la seconde variété, les pommettes sont larges et saillantes, le nez facilement relevé à son extrémité, et les narines très ouvertes (*fig.* 162).

Digitized by Google

Fig. 163. — Mésotonicité. Variété musculaire.

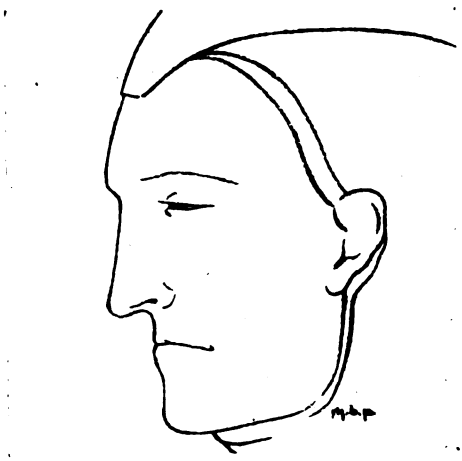


Fig. 164. — Mésotonicité. Variété musculaire.

Digitized by Google

Fig. 165. — Mésotonicité. Variété musculaire

Fig. 166. — Mésotonicité. Variété cérébrale.

Digitized by Google

La variété *musculaire*, très répandue, correspond bien à ce que le langage courant désigne par « traits réguliers », c'est-à-dire où aucun ne frappe et ne retient spécialement l'attention. Comme aucun des trois étages D, R, ou C n'y prédomine, cette variété est très proche du type moyen proprement dit, dont elle ne se distingue que par

Fig. 167. — Mésotonicité. Variété cérébrale.

une différenciation et une accentuation plus grandes du revêtement musculaire. Il en résulte, pour les traits du visage, un dessin net et précis, qui leur a valu, dans certains cas, cette autre appréciation du langage courant : « Un profil de médaille ». Les figures 163, 164, 165 représentent trois musculaires d'âge différent. Si, d'après la qualité de leurs traits respectifs, on veut risquer un pronostic morphologique, il semble bien que le premier soit destiné à s'alourdir avec l'âge, alors que les deux autres, le troisième surtout, paraissent devoir rester toujours pareils.

Enfin, comme exemple de variété *cérébrale*, il y a cet adulte fatigué

Digitized by Google

Fig. 168. — Variété digestive-respiratoire.

Fig. 169. — Variété respiratoire-digestive.

Digitized by Google

Fig. 170. — Variété digestive-cérébrale.

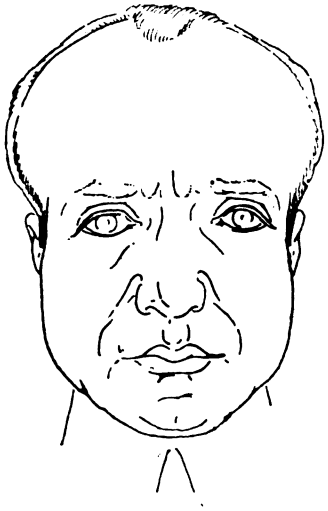


Fig. 171. — Variété cérébro-digestive (M. Dubost).

Digitized by Google

perdu dans ses ennuis (*fig.* 166), et tout au contraire, ce souriant bébé de 6 mois (*fig.* 167). S'il est normal d'observer à cet âge une prédominance du crâne tout entier (avec celle de l'abdomen), il est assez rare de trouver un tel développement du front, et un regard aussi expressif.

Quelques doubles prédominances.

Par ce qui précède, on imagine aisément l'aspect donné au visage par deux prédominances simultanées.

Fig. 172. — Variété cérébro-respiratoire.

Les prédominances des figures 168, 169 sont *digestive* et ***respiratoire***. Le premier visage est plus digestif encore que respiratoire, et les traits arrondis annoncent une tendance à la dilatation, tandis que dans le second visage les deux prédominances s'équivalent à peu près, et l'asséchement des traits fait prévoir le maintien du *statu quo*, ou une tendance à la rétraction.

Une prédominance *digestive*, lorsqu'elle est seule, donne souvent au visage la forme d'une poire : les caricatures de Louis-Philippe en offrent une illustration parfaite. S'il se dessine une seconde prédominance, ***cérébrale***, le contour apparent du visage, vu de face, élargi en bas, élargi en haut, mais non au milieu, se rapproche de

Digitized by Google

celui d'une guitare. La figure 170 en donne le premier degré

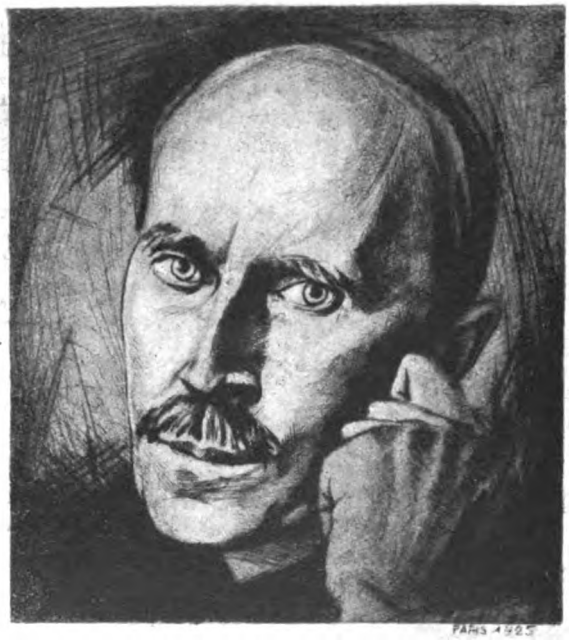


Fig. 173. — Cérébro-respiratoire
(Romain Rolland, par A. de Szekely).

Dans la figure 171, au contraire, la prédominance cérébrale passe avant l'autre.

Digitized by Google

La physionomie, bien connue, du grand Pasteur, est un bon exemple de *cérébro-musculaire*, et l'image que voici est celle d'un *cérébro-respiratoire* (*fig.* 172).

Cérébro-respiratoire aussi, le visage de Romain Rolland. La belle pointe sèche d'André de Szekely (*fig.* 173) a très bien saisi ces deux caractéristiques : front très élevé, puissance et intensité du regard, largeur du visage au niveau des pommettes (1), nez grand, au dessin ferme et nuancé, avec des narines bien développées. On ne saurait trop louer, en cette œuvre forte et vivante, sa double qualité d'art et de vérité.

Remarque.

Dans un visage, comme pour le corps, la multiplicité maxima des grands ou petits accidents de la forme, ou « couleur morphologique » maxima, au niveau de l'appareil prédominant, est un fait constant. Il contribue à donner à l'individu son caractère, et c'est lui que l'œuvre d'art, avant tout, note et accentue. L'accentuation peut atteindre une grande amplitude, sans que l'œuvre cesse d'être parfaitement plaisante. Il nous souvient d'une collection de caricatures, par Sacha Guitry. L'une d'elles représentait une personnalité israélite connue. On pourrait croire que le portrait allait souligner le « nez juif ». Point du tout. Le modèle était un digestif, et l'artiste n'a pas hésité à supprimer le nez complètement, et à faire ressortir d'autant la mandibule : le résultat était très évocateur.

On touche, avec cette remarque, au phénomène important, parce qu'absolument général, de la déformation en art. Nous le retrouverons au prochain Chapitre. Pour le moment, nous nous bornerons au simple énoncé suivant. De la reproduction servile du modèle, une déformation progressive conduit à l'œuvre d'art. De l'œuvre d'art proprement dite, d'autres déformations permettent de passer, sans discontinuité aucune, soit à une stylisation d'abord audacieuse puis extravagante, soit à une caricature outrée, soit à une œuvre franchement pathologique. Mais la différence entre les nombreux

(1) Ébauche du schéma « en losange », signalé plus haut, qui serait plus accusé chez un respiratoire pur, non cérébral.

Digitized by Google

cas extrêmes possibles est seulement dans la modalité et le degré des déformations, et non dans leur essence. Et en art, la seule opération d'intérêt vraiment nul est la reproduction servile du modèle, bien identique à lui.

Le cas des Bigoudenn et celui des mineurs de Belgique.

Les données actuelles de Morphologie dynamique permettent de résoudre certaines questions qui, sans elles, semblaient devoir rester toujours en suspens.

Ainsi une controverse interminable s'est élevée au sujet des Bigoudenn de Bretagne. Certains ethnologues, frappés par la forme de leurs yeux, par leurs paupières bridées, leurs pommettes saillantes, leurs narines bien ouvertes, voulaient y voir la marque d'une descendance de quelque enclave de race jaune, car les Kalmouks présentent des caractères morphologiques analogues. Mais même en supposant, ce qui n'est pas prouvé, que des Asiatiques soient parvenus autrefois jusqu'aux côtes ouest de la France, il resterait à expliquer pourquoi leur type s'est perpétué chez les Bigoudenn seuls.

Or, voici comment répond l'excellent observateur Auguste Dupouy [1] :

« 1° Les caractères prétendus distinctifs sont surtout apparents au bord de la mer, dans les zones de « palud », là où le vent souffle, où le soleil cuit, où l'embrun circule, où la réverbération est intense. Dans les communes plus agrestes, le type Bigoudenn se rapproche des types voisins.

» 2° Les mêmes caractères sont fréquents sur d'autres points, pareillement exposés, de la côte finistérienne ou morbihannaise, dans le palud de Mousterlin, de Trévignon, d'Auray.

» 3° Même sur la côte rase du pays Bigoudenn, l'atténuation et l'affinement des traits donnés comme ethniques se remarquent chez les femmes qui, de plus en plus nombreuses, ont remplacé l'ancienne existence aux champs, ou à la grève comme goëmonnières, par le travail des usines ou par les petits métiers à domicile, couture, dentelle d'Irlande, etc. : on assiste, *sur place, à une évolution du type*, que

[1] *La Nature*, 31 décembre 1921.

Digitized by Google

n'expliquent ni les croisements, ni la consanguinéité, mais la *substitution d'un régime urbain à la vie au grand air.* »

Il n'est pas possible de dire mieux. Les Bigoudenn sont évidemment des respiratoires accentués. Les Kalmouks, nomades toujours à cheval, aussi. Il est donc certain que les uns et les autres auront en commun les caractéristiques de la variété respiratoire. Mais il est également certain que bien d'autres peuplades à prédominance respiratoire pourraient être, de même, rapprochées des Bigoudenn, sans qu'il soit nullement besoin de faire appel, pour ceux-ci, à un atavisme aussi multiple. D'ailleurs, à côté des traits communs ou analogues, des différences indéniables montrent bien que la variété respiratoire des Bigoudenn leur est propre, et n'est pas une variété d'Asie.

Enfin, la présence ancienne, sur les côtes ouest de la France, de peuplades à prédominance respiratoire, n'infirmerait en aucune façon ce qui précède. Il est clair, en effet, d'abord, que la prédominance n'eût pu se maintenir que dans les zones où les conditions du milieu l'eussent permis. Et ensuite, dans ces zones-là, une variété respiratoire locale se serait peu à peu substituée à la variété respiratoire ancienne.

Les observations d'Auguste Dupouy sont d'un grand intérêt parce qu'il n'est pas fréquent de pouvoir assister à la variation sur place d'un type, sous l'influence d'un changement de régime.

Il semble bien qu'un autre exemple remarquable soit donné par les mineurs de Belgique (1), dont le type, si accusé, se reconnaît au premier coup d'œil. Il se devine. Le travail dans la mine, dur et soutenu, a pour première conséquence une prédominance musculaire nette. Mais elle ne reste pas la seule. Les mines sont profondes de plusieurs centaines de mètres; elles atteignent parfois le millier de mètres. La descente au fond et la remontée au jour se font à une allure extrêmement vive (2), et les rapides et grandes variations de pression qui en résultent imposent aux poumons une activité considérable. On peut donc prédire la seconde prédominance, et la forma-

(1) Je ne parle que de la Belgique, parce que je n'ai pas eu connaissance de documents concernant d'autres mineurs.

(2) La vitesse de descente pourrait aller, m'a-t-on dit, jusqu'à 60^{km} à l'heure, soit 1 minute pour 1000^{m}. Je n'ai pas eu confirmation du chiffre, mais la très grande vitesse est un fait bien connu.

Digitized by Google

tion, sur place, d'une variété musculaire-respiratoire, expérimentale, particulière. C'est en effet le cas. L'œuvre si puissante de Constantin Meunier en donne une très saisissante et complète illustration.

Prédominance morphologique. attitudes. tendances.

La différenciation des traits du visage n'est qu'un cas particulier de la différenciation des traits du corps entier, jusqu'en ses plus minimes parties : les empreintes digitales n'en sont qu'un autre cas particulier, enregistré (1). Et la surface visible n'est pas modifiée sans que la structure le soit aussi.

D'autre part, les liens étroits des jeux de physionomie avec la morphologie du visage ne sont aussi qu'un cas particulier des liens de tous les gestes et de toutes les attitudes d'un individu avec la morphologie de son corps. Plus brièvement, toute la mimique individuelle est fonction du type morphologique. Un artiste s'en convainc immédiatement : tel musculaire, qui représente à merveille un guerrier, ne posera jamais bien pour un philosophe perdu dans ses pensées; et tel cérébral, qui sera excellent dans ce dernier cas, fera probablement piètre figure en lutteur prêt à bondir. Dans la même note, mais plus étendue, que l'on pense au jeu d'un acteur cérébral comme Pitoeff, ou d'un musculaire comme Galipaux, et aux rôles qu'ils préfèrent. La chose est d'ailleurs presque évidente *a priori*, et il n'est pas besoin d'y insister.

Mais un rôle sur la scène n'est qu'une stylisation particulière des rôles que nous jouons, au naturel, pendant toute notre vie; ou bien, en ramenant les choses à leur élément le plus simple, une attitude physique n'est que le premier terme d'une série de réactions, dont le dernier est l'attitude mentale, et qui, parmi beaucoup d'autres modalités, va de la tendance fruste, impulsion ou goût à peine conscient ni raisonné, jusqu'au jugement mûri, qui voudrait être « objectif ». Or, tout le long de la série, on continue à remarquer les liens étroits des diverses réactions, ou attitudes, avec le type morphologique.

Voici, en exemple, prises au milieu d'une légion, quelques paroles,

(1) Un autre cas particulier est présenté par les rapports qui existent entre les traits du visage et la forme des dents. Etc.

Digitized by Google

dont les auteurs sont d'âge, d'occupation, et de milieu social différents. Ces paroles sont du genre de celles que chacun de nous peut entendre à tout moment. En soi, elles n'ont rien de remarquable. Mais c'est, précisément, parce que les circonstances où elles ont été prononcées sont quelconques, que leur spontanéité les rend très révélatrices des tendances instinctives de l'individu, et que la confrontation avec le type morphologique devient éloquente :

1° Trois touristes s'entretiennent des beautés de la Suisse. Deux d'entre eux, respiratoire-musculaire et cérébro-musculaire, parlent avec chaleur du Haut-Valais et des grandes ascensions qu'on y peut faire. Au milieu de la conversation, le troisième touriste, un digestif pur, sourit largement, puis, *ex abrupto*, lance cette boutade : « Tout ça, c'est très gentil, mais en Suisse, il n'y a pas que des montagnes, il y a aussi les Suisses ! Or, moi, il y a une chose que je ne pardonnerai jamais aux Suisses : c'est de ne pas avoir de plat national ! »

2° Au début de janvier, en Haute-Maurienne, un montagnard du pays me ramenait, en traîneau découvert, de Bessans à Lanslebourg (1). Après une conversation à bâtons rompus, mon compagnon s'exclame tout à coup : « Ah ! Paris ! J'y ai été, moi aussi. On peut dire que celui qui n'a pas été à Paris n'a rien vu. Mais pour moi, quand je ne peux pas être là-bas, j'aime une belle journée comme celle-ci : une belle neige, *respirer du bon air*, et *c'est tout !* » Le « bon air » était un vent vif, et assez piquant, par un froid de 15° au-dessous de zéro. Mais mon compagnon était un respiratoire franc.

3° Une cérébro-respiratoire, à la fin de ses vacances, passées à l'air pur et dans le grand calme et le rayonnement harmonieux de la pleine campagne, exprimait ainsi les sentiments que lui inspirait son retour à Paris : « Il me semble que je rentre dans un tunnel étouffant. »

4° Dans une école de jeunes filles, le professeur avait donné comme sujet de rédaction française : « Un jour de vent, à la campagne et à la ville » (2).

Une digestive molle et placide écrit : « ...Les corbeaux viennent

(1) C'est-à-dire de 1730m à 1400m.

(2) Les élèves de cette classe avaient de 15 à 16 ans.

Digitized by Google

aussi crier pour rendre le spectacle plus poignant. On croirait que la mort va faire son apparition ! Que vient faire le vent ? Ne va-t-il pas, d'un seul coup, détruire tous les chefs-d'œuvre de l'homme, et tout anéantir ? Et lorsque nous sommes dehors, il nous semble qu'il veut nous soulever de terre, pour nous faire retomber désespérément. On dirait qu'il s'amuse de nous, et que son bonheur est de voir tout souffrir sur son passage. » Et la personne qui pense ainsi être soulevée de terre est déjà très arrondie, et pèse dans les 80^{kg}.

Une de ses camarades, respiratoire, déclare, au contraire : « Rien n'est charmeur comme un jour de grand vent. »

Une autre, musculaire et respiratoire, dans une rédaction trépidante de mouvement et pleine d'enthousiasme pour le vent, s'écrie : « Oh ! que j'aime me trouver à la campagne, au moment de l'automne, pour pouvoir entendre souffler le vent dans toute sa fureur ! »

Enfin, une autre musculaire-respiratoire précise et détaille : « J'aime le vent ! Je l'aime plus qu'un beau rayon de soleil ! Il occasionne des courants d'air et fait casser les vitres. J'aime, dans le vent, le mouvement de l'air et les bruits violents qu'il déchaîne. Certaines personnes, les jours de grand vent, préfèrent rester enfermées chez elles. Elles sont maussades quand d'autres se réjouissent; et elles ne savent pas apprécier les grandes qualités du vent. »

•

5° Je dois à l'obligeance du Dr M. Laemmer les quatre observations qui suivent :

a. Une digestive « arrondie » aime les poètes et en particulier Alfred de Musset, et déclare que la pièce *Sur trois marches de marbre rose* lui fait l'effet « d'être aussi adorable que des petits pains, fourrés de foie gras, et arrosés de café glacé ».

b. Dans une causerie sur la peinture, où l'on trouvait délicieux les intérieurs hollandais, l'un des interlocuteurs, respiratoire « rétracté », proteste : « Oui, mais c'est sombre, et l'on étouffe là-dedans ! J'aime cent fois mieux les bruyères à répétition de Didier-Pouget. »

c. Une respiratoire-digestive, avec tendance à la dilatation, n'aime que la musique « large, où il y a de l'air ». Elle préfère le style Louis XV au style Louis XVI, parce qu'il est « plus nourri ». Quand elle est malade, elle s'entoure de tableaux représentant des scènes champêtres, « car, de cette façon, elle se sent moins enfermée et ne devient pas neurasthénique ». A l'état de santé, ses prédilections vont aussi

Digitized by Google

aux peintures de scènes champêtres, en spécifiant la présence, désirée, de bœufs, vaches, moutons, etc.

Je pense qu'une étude « morphologique » des critiques du public, en art, serait pleine de saveur... Les artistes savent d'ailleurs depuis longtemps que, sauf exception, les louanges ou les critiques qu'on leur adresse n'ont pas grand'chose de commun avec l'art... On verra de plus, au Chapitre prochain, quelles différences physiologiques profondes séparent l'artiste du « public » (1).

Dans les diverses circonstances de la vie, les expressions les plus directes et les plus familières trahissent ainsi, sinon toujours, du moins très souvent, la variété morphologique. Par exemple, en faisant une sorte de résumé statistique des réactions à un choc moral, M. Laemmer note : « Le digestif se dit « dégoûté », et perd l'appétit; le respiratoire est « oppressé », et soupire; le musculaire est « abattu », voire courbatu; le cérébral ne « sait plus où donner de la tête », et se plaint de migraine ».

d. Enfin, avec la quatrième observation, on voit l'impulsion instinctive engendrer une suite d'actes. Un industriel est de variété musculaire-cérébrale, avec tendance à la rétraction. Son travail l'oblige à rester confiné dans ses bureaux. Il se surprend à devenir, chez lui, nerveux et insupportable. Le docteur lui demande s'il n'a pas cherché à lutter contre cette mauvaise humeur. Il répond : « Si. J'ai même trouvé un moyen. Chaque fois que je peux, je descends à l'atelier, et sous prétexte de mise au point, je travaille manuellement pendant deux ou trois heures. Alors, je sens que je me suis abattu les nerfs, et je redeviens aimable. »

6° Le cas de Rossini est plus caractéristique encore. Ce grand artiste, ample digestif, disait à son ami Liszt : « Figurez-vous que mon divertissement est d'écrire des sonates pour piano auxquelles j'attache de jolis titres alimentaires, tels que : « beurre frais », « pois chiches », « pois verts », « cerises », « abricots ». Rossini a cessé d'écrire avant quarante ans, à l'apogée de sa gloire, après *Guillaume Tell*, pour se consacrer à la... gourmandise. Son macaroni était célèbre, et il en était plus fier que du *Barbier de Séville*.

---

(1) *Cf.* Chapitre VII, § 60, p. 118, et § 62, p. 122.

Digitized by Google

Il serait aisé de multiplier sans fin ces observations, et aussi de passer à des cas plus complexes.

Par exemple, il est clair que le phénomène de la vocation impérieuse, ou, à un degré moindre, du libre choix d'une carrière, n'est que l'extension des phénomènes simples de préférence, de goût, de penchant. Nous voulons dire par là que le type morphologique préexiste au choix, indépendamment de tout phénomène d'hérédité.

Et, en effet, on trouve un pourcentage élevé de *digestifs* parmi les cabaretiers, les bouchers, les crémiers, etc., dans les métiers touchant de près à l'alimentation.

Ainsi, en très grand nombre, des montagnards de la Haute-Maurienne, tous *respiratoires*, s'en viennent à Paris chercher du travail, pendant l'hiver, où tout labeur, chez eux, est interrompu par la neige. Sait-on quelles places ils recherchent, à peu près sans exception : cochers, chauffeurs de taxis, livreurs de grands magasins, conducteurs de camions, « pour respirer », disent-ils.

D'une manière analogue, on trouve un pourcentage élevé de *musculaires* dans les métiers comportant, soit un déplacement effectif, une gesticulation effective, y compris celle, particulière, qu'est la parole : placiers, commis voyageurs, ouvriers [1], militaires, explorateurs, acteurs, avocats, etc., soit un mouvement virtuel, pensé, retenu, mais déclenché en autrui : brasseurs d'affaires, industriels, esprits d'organisation pratique et positive, administrateurs, etc.

Enfin, nous l'avons déjà noté plus haut, des penseurs et des savants offrent des prédominances *cérébrales* manifestes.

En résumé, dans toute l'évolution individuelle, façon de se comporter et conduite de la vie, on retrouve, parmi d'autres facteurs (tonicité, etc.), l'influence de l'appareil prédominant. Et l'éducation, l'hygiène et la thérapeutique, ces trois disciplines parentes ne peuvent s'en désintéresser.

Prédominance morphologique et correspondances fonctionnelles.

Quelle est l'explication des faits qui viennent d'être rappelés ?

Deux indications distinctes se dégagent d'abord. La première

[1] *Cf.* la figure 200, p. 147, *Le Drapeau des Travailleurs*, par G. Zilzer, où l'auteur a souligné le « type rectangle », c'est-à-dire musculaire, des travailleurs manuels.

Digitized by Google

est que, pour assurer à l'organisme mésotonique un fonctionnement favorable, le régime de l'appareil prédominant doit continuer à prédominer, même après la phase de croissance de l'individu. La seconde est que si ce besoin organique n'est pas toujours consciemment formulé, il est du moins toujours très nettement ressenti.

La première indication fait retrouver la question essentielle déjà posée au paragraphe 54. Par rapport aux autres régions, une *région prédominante* est aussi de tonicité moindre, ou, ce qui revient au même, *de plus grande faculté d'absorption pour les énergies du milieu*, La nécessité de garder un régime qui assure cette absorption prédominante signifie que l'achèvement de la croissance, en fixant la prédominance morphologique, fixe aussi la prédominance d'absorption. Comment ? Probablement pour des raisons, non de volume de l'appareil prédominant, mais de surface utile. Les considérations de surface sont d'ailleurs insuffisantes, même à un premier examen, car, même en supposant partout une perméabilité optima, si l'on imagine fort bien que les facultés d'absorption d'un tube digestif ou d'un poumon soient en raison directe de leurs surfaces utiles respectives, on sait, d'autre part, que le problème est beaucoup moins simple pour le muscle ou pour le cerveau. La considération de surface doit vraisemblablement, en ce cas, faire place à celle, d'ailleurs connexe, de différenciation histologique. Mais la nouvelle Morphologie, qui déjà, nous l'avons dit, ne s'occupe guère d'anatomie, se soucie bien moins encore d'histologie, et pas du tout du mécanisme de la tonicité. Aussi la question actuelle, cependant fondamentale, est-elle posée, mais nullement résolue.

La réponse à la seconde indication est moins difficile à donner. Prédominance morphologique signifie prédominance dans l'absorption. Continuer le régime qui l'assure entraîne donc un gain d'énergie. Gêner, par privation, le fonctionnement de l'appareil prédominant, entraîne, inversement, une perte d'énergie. Un gain d'énergie a pour concomitant, à partir d'une position initiale, ou moyenne, d'équilibre relatif, des réactions positives [1]. Une perte d'énergie, au contraire, des réaction négatives [1]. Or, Bose a minutieusement démontré qu'aux réactions positives était liée une impression agréable, et, inversement, qu'aux réactions négatives était liée une impression

[1] Deuxième loi de Bose.

Digitized by Google

désagréable (1). Un plaisir ou une peine simples, accompagnent donc toujours la liberté laissée ou une gêne imposée à l'appareil prédominant, et c'est ce plaisir et cette peine, non raisonnés, mais parfaitement sentis, qui sont à l'origine de toute une immense catégorie de nos attractions et de nos répulsions, qui orientent nos tendances, celles dites les plus instinctives et les plus profondes. Et, en effet, en se reportant aux exemples relatés plus haut, qu'il s'agisse d'une déclaration quelconque, de la formule d'un désir, de l'aveu d'un penchant ou d'un antagonisme, et des actes qui en résultent, on voit qu'on est toujours ramené, en dernière analyse, à l'expression d'un tel plaisir ou d'une telle peine simples.

De là, il résulte qu'un organisme souffre moins d'un excès du régime de son appareil prédominant que d'un défaut. Un tel appareil se présente donc comme doté d'une sorte d'élasticité physiologique univoque, à limite inférieure. Des cérébraux, par exemple, en état de santé moyen, pour une lassitude générale imprécise, ont pu suivre des cures de jeûne total, diète hydrique rigoureuse, pendant huit jours pleins, sans en éprouver autre chose qu'un grand bien-être avec accroissement de toutes leurs activités, tandis que des digestifs qui ont voulu les imiter se sont senti défaillir dès le deuxième jour. Ainsi, faute de tenir compte du type morphologique, beaucoup de cures pourraient se trouver bornées à n'être, indirectement, qu'une opération de statistique non prévue.

De même, dans un domaine étroitement lié au précédent, celui du repos, des musculaires ont pu n'éprouver aucun dommage d'une réduction, considérable et prolongée, de leurs heures de sommeil, alors que des cérébraux, soumis au même régime, en étaient intellectuellement anéantis.

Comme tout à l'heure, les applications à l'éducation, à l'hygiène et à la thérapeutique sont ici évidentes, à condition de ne pas oublier cette vérité banale qu'il y a des plaisirs nuisibles et des peines utiles, et qu'il y en a aussi de neutres : une donnée sensorielle, pouvant avoir plusieurs significations, ne sera donc jamais qu'une indication intéressante, et non pas un élément d'appréciation, décisif à soi tout seul.

(1) Cf. *Comparative Electrophysiology*, Chap. XLIII et XLIV (Londres et Calcutta. Longmans et Green; 1906).

Digitized by Google

On est assez tenté de résumer largement ce qui précède en disant qu'à une prédominance morphologique correspond une prédominance fonctionnelle.

Même en prenant l'expression « prédominance fonctionnelle » dans le sens fruste et insuffisant de plus grande *quantité* d'énergie transformée », cette phrase est toute schématique, sinon même purement théorique. En effet, une prédominance morphologique correspond à une plus grande absorption d'énergie. Pour un individu, supposé, dans son ensemble, mésotonique parfait, la quantité d'énergie transmise est théoriquement égale à la quantité absorbée. En y ajoutant l'hypothèse que, dans son détail, toutes les régions de son corps sont rigoureusement mésotoniques, la région prédominante, absorbant davantage, transmettra davantage aussi, et aura donc un fonctionnement prédominant.

Dans ces conditions, la phrase proposée *semble* acceptable. Mais la réalisation de ces deux hypothèses est beaucoup plus une vue de l'esprit qu'un fait d'expérience : on est en présence d'une sorte de cas limite théorique, dont les types morphologiques « moyens » s'approcheront plus ou moins.

Vers la fin du prochain paragraphe (*Remarque*), on verra comment il serait désirable de pouvoir préciser la notion de prédominance fonctionnelle.

Une question connexe à la précédente est celle de la valeur comparative des quatre variétés D, R, M, C.

Ainsi formulée, la phrase n'a presque pas de sens. S'agit-il d'une valeur biologique, indice de vitalité, ou d'une valeur sociale ?

Au point de vue biologique, nous avons affaire à des types « moyens » et les quatre variétés se valent.

Au point de vue social, il en va tout autrement, parce qu'une prédominance morphologique ne correspond, avec certitude, qu'à des *quantités absorbées*, tandis que la valeur sociale dépend non seulement des quantités transmises, mais aussi et surtout de leur combinaison ou élaboration, d'où dépend leur *qualité*. Or, à l'égard de cette fonction supérieure, la Morphologie actuelle est muette.

En tous les cas, il est de connaissance banale que l'on peut être de variété cérébrale et, en même temps débile mental, et qu'un homme de génie peut ne présenter aucune prédominance morphologique

Digitized by Google

cérébrale. Morphologiquement, Renan semblait être digestif autant que cérébral, Rossini était un digestif, etc., et dans le domaine des sciences exactes qui réclame la plus grande tension intellectuelle, la haute Mathématique, si l'on trouve des savants éminents qui soient des cérébraux, on en trouve d'aussi éminents qui sont des respiratoires, des musculaires, etc., ou qui n'appartiennent pas aux variétés rencontrées jusqu'à présent : on verra pourquoi au paragraphe 56.

Il serait facile de multiplier ces exemples, et de voir qu'il n'y a aucune hiérarchisation à introduire entre les quatre variétés D, R, M, C.

Aussi bien la question n'a-t-elle de sens qu'au point de vue statistique. Mais alors elle revient simplement à dire ce qui a déjà été indiqué plus haut, à savoir que l'on trouve un pourcentage élevé d'individus appartenant à une variété donnée, dans les milieux où le régime correspondant domine.

Remarque.

Nous avons dit aussi, au début de ce paragraphe, que les types mésotoniques, ou moyens, en vivant ne changent guère, et restent toujours pareils à eux-mêmes. Cette assertion suppose, bien entendu, le maintien de l'état de bonne santé.

Mais un mésotonique peut se dilater de deux manières. Soit en étant soumis continûment à un régime général un peu trop abondant, avec dépenses physiologiques diminuées : la dilatation est directe et progressive. Soit en ayant commencé par subir une rétraction, pas spécialement intense, mais très prolongée, sous l'influence de chocs multiples, d'erreurs de régime, etc. L'individu acquiert ainsi une variété rétractée, artificielle en quelque sorte ou expérimentale, subpathologique, en même temps que se développe chez lui, comme on sait, une forte tendance au renversement des réactions, c'est-à-dire à la dilatation. De nombreux facteurs peuvent la déclencher. Il suffit, par exemple, du retour aux conditions de vie correspondant au type original, avant qu'il fût effacé. Alors, non seulement l'individu commence par revenir à ce type, mais il peut ensuite aller au delà, par impulsion acquise, et se dilater. Puis, s'il n'est plus assez jeune,

Digitized by Google

au lieu de revenir au type qu'il a dépassé, il reste fixé en son nouvel état dilaté.

Mais dans l'un et l'autre cas, dilatation directe et progressive, ou dilatation par oscillation fixée, on voit ainsi des individus acquérir, surtout aux environs de la quarantaine, une variété dilatée, gardant cependant la prédominance morphologique ancienne, puisque la dilatation intéresse l'ensemble de l'individu. Ces individus ne sont donc pas des hypotoniques, mais des mésotoniques déformés : nous les avions signalés, au début du paragraphe 54.

Quant à l'évolution du type « moyen » vers la rétraction, elle fait précisément l'objet du paragraphe suivant.

Autre remarque.

Il est intéressant de noter que, dans les phases successives de son développement, les aspects de l'enfant sont, dans une certaine mesure, en accord avec les correspondances reconnues entre la prédominance morphologique et la prédominance dans l'absorption des énergies du dehors.

D'une part, en effet, le système musculaire du bébé, aussi bien que son appareil respiratoire sont rudimentaires : membres courts, aux modelés uniformément arrondis, recouvrant des muscles faibles, indépendamment du non-achèvement des os et du système nerveux; thorax globuleux, à section quasi circulaire, très petit. Modelés du visage également arrondis, et nez vraiment réduit à sa plus simple expression : à part de minimes différences, les nez minuscules des bébés sont tous pareils, et c'est l'absence de toute accentuation musculaire et respiratoire qui rend si difficiles les portraits des très jeunes enfants. En revanche, très gros abdomen, et grandes dimensions de ses principaux viscères; puis gros volume de la tête [1], crâne large, et visage joufflu. Les prédominances morphologiques du début sont donc nettement digestive et cérébrale, et les appareils se rangent, dans l'ordre suivant, d'importance décroissante : D, C, R, M.

---

[1] *Cf.* les deux notes intéressantes : R. Anthony et F. Coupin, *L'indice de la valeur cérébrale au cours de l'évolution individuelle* (*Revue anthropologique*, avril-juin 1925), et F. Coupin, *L'indice de valeur cérébrale au cours de l'enfance, chez les Anthropoïdes* (Communication à l'Académie des Sciences, 31 janvier 1927).

Digitized by Google

D'autre part, au point de vue fonctionnel, la vie de relation, indépendamment de ses débuts si timides, est destinée à rester pendant très longtemps fort loin de ce qu'elle sera plus tard, parce que son plein épanouissement est lié à l'état du squelette, et que celui-ci ne commence à s'achever qu'après la seizième année environ (première soudure diaphyso-épiphysaire). La respiration reste aussi une fonction relativement mineure assez longtemps, jusqu'à la période prépubère. Un détail peut en donner une idée. On sait le rôle considérable joué par la respiration, et par son associée la circulation, dans la fonction de calorification, et l'on sait aussi combien défectueuse est cette dernière fonction chez le bébé, et combien elle reste défectueuse au cours des deuxième, troisième enfances et jusque dans l'adolescence [1] : la respiration n'en est certes pas la seule responsable, mais nul doute qu'elle soit en cause. A côté des deux activités musculaire et respiratoire, celle de la nutrition apparaît ici comme la grande dominatrice. La chose est d'ailleurs si évidente, qu'il suffit de l'énoncer. On sait moins, dans le grand public, à quoi correspondent les facultés d'absorption du cerveau d'un tout jeune enfant. Elles sont très considérables, si l'on pense que pendant les trois premières années s'achèvent le système nerveux et la structure intime du cerveau, s'affirment les caractères neurologiques de l'adulte futur (disparition des réflexes infantiles, des mouvements associés ou syncinésies, éducation des sphincters, etc.), sont acquises des fonctions mentales riches et diverses : notion de la distance, langage, sentiments, premières ébauches de généralisation et d'abstraction, et, même, indication des tendances fondamentales du caractère [2]. A partir de l'âge de 3 ans, les notions se développent et se multiplient grâce à une élaboration fort complexe, mais le fonctionnement du cerveau, dans ses constituants essentiels, est déjà obtenu à cet âge [3], dénotant des capacités d'absorption qui le placent dès après l'appareil digestif. Il en est de même pendant la deuxième enfance

---

[1] Première enfance : de 0 à 3 ans; deuxième enfance : de 3 à 6 ans; troisième enfance : de 6 à 13 ans; adolescence : de 13 à 25 ans.

[2] Les impressions reçues jusqu'à l'âge de 3 ans ne laissent pas de souvenirs conscients, mais elles se fixent néanmoins à l'état de tendances profondes, dont on ne soupçonne pas assez, d'ordinaire, toute l'importance.

[3] *Cf.*, parmi d'autres, le très intéressant *Traité de Médecine légale infantile*, par le Dr André Collin, et par Henri Rollet (Paris, Delagrave, 1920).

Digitized by Google

et une partie de la troisième, puisque, dès un âge qui, suivant les sujets, varie de 5 à 7 ou 8 ans, l'enfant est déjà en possession de la très grande majorité des principales images concrètes du monde extérieur, et des mots qui les représentent. En rangeant les appareils par valeurs décroissantes de leurs facultés respectives d'absorption, on retrouve donc l'ordre D, C, R, M précédent. Ainsi se dessine entre ces facultés d'absorption et les importances morphologiques correspondantes, ce parallélisme que la Morphologie humaine a mis en évidence *pour les types mésotoniques ou « moyens »*.

On peut essayer de suivre ce parallélisme pendant les deux étapes suivantes de la croissance de l'enfant, mais les choses sont moins simples, parce que d'autres facteurs font sentir leur influence, et que (nous l'avons déjà signalé plus haut) la Morphologie actuelle n'a guère su opérer de liaison bien efficace avec eux : par exemple, les fonctions nerveuses, la maturation des éléments génitaux, le fonctionnement thyroïdien, parathyroïdien, celui de l'hypophyse, des surrénales, etc. Aussi, bien que des conclusions analogues aux précédentes soient encore, très *grosso-modo*, valables pour ces deux dernières étapes, la question demande grandement à être mieux précisée.

56. — (7). HYPERTONICITÉ. TYPES RÉTRACTÉS.

Avec une tonicité accrue, en hypertonicité, la quantité d'énergie transmise est plus grande que la quantité d'énergie absorbée, et les réactions sont négatives. D'où : turgescence diminuée, croissance moins rapide, *rétraction* générale de la forme. Adaptabilité faible, et surtout variable, comme on va le voir.

Cependant, même dans un exposé aussi réduit et condensé que celui-ci, un tel raccourci des choses, admissible pour les réactions peu compliquées des hypotoniques, et pour celles moyennement compliquées des mésotoniques, ne l'est plus du tout pour les réactions toujours complexes des hypertoniques.

On se rappelle, en effet, que toute réaction négative contient une réaction positive masquée, déjà sensible dans les réactions simples, et d'autant plus facilement manifestée que les réactions seront multiples et autonomes. En hypertonicité, toute réaction est, telle une somme algébrique, la résultante de deux réactions de signe

Digitized by Google

contraire, et, d'une manière générale, tout phénomène pourra donc être compliqué par son contraire.

Pour se rendre compte de ce qu'entraînera la présence de cette réaction positive, il vaut mieux ne pas se situer d'emblée en hypertonicité, mais pénétrer peu à peu dans la région (γ) du schéma (*fig.* 155), en cheminant de I vers N. Dans la région (α), les réactions étaient simples, ou « simplement » positives, et le schéma, bien que diagramme résumé, les représentait. En I, les réactions ne sont plus figurées que par un point. Ceci n'a guère d'inconvénient, parce qu'on sait par ailleurs que ce point représente des réactions positives et négatives en nombre pratiquement égal, et d'amplitude pratiquement égale aussi. De I en N, tout change. Il semblait que l'on pût dire, tout uniment, que les réactions positives diminuent progressivement d'amplitude, tandis que les réactions négatives connaissent une fortune inverse. Mais un point du schéma ne correspond qu'à une réaction *résultante* de deux autres, c'est-à-dire ne dépend que de la différence de leurs amplitudes respectives, et nullement de la valeur absolue de ces amplitudes, qui peut être grande. Et, en effet, elle l'est souvent, en raison de l'hypertonicité, qui indique, de la part de l'organisme, non seulement la transmission des énergies reçues, mais une dépense de ses propres réserves.

Il suit de là une adaptabilité non seulement variable, mais à éclipses probables, des phénomènes à marche parfois heurtée, avec des revirements possibles. En un mot, instabilité, sinon habituelle, du moins facile à déclencher.

Les conséquences morphologiques en sont évidentes. Au rebours de ce qui a lieu en hypo- et en mésotonicité, la croissance a toutes les chances d'être irrégulière, avec des hauts et des bas de grande amplitude, quelquefois soudains. L'organisme témoigne d'une tendance nette à la rétraction, intermittente ou non. L'âge venant, la rétraction s'accentue progressivement : les *rétractés* sont de ceux dont le langage courant dit familièrement qu'à la fin de leur vie « depuis longtemps, ils n'étaient plus que l'ombre d'eux-mêmes ».

Cette rétraction de l'individu, sauf en un cas extrême que nous mentionnerons, n'est jamais uniforme, pour plusieurs raisons.

La première est que, pour une forme, toute réaction positive masquée est une dilatation latente, et nombreuses sont les conditions qui peuvent rendre celle-ci manifeste.

Digitized by Google

On sait d'autre part (première loi de Bose, etc.) que les réactions négatives peuvent directement s'inverser. Sur un organisme qui évolue en hypertonicité, une action d'ensemble, distante, modérée,

Fig. 174. — Hypertonicité. Rétracté-bossué
(L. Bazalgette, par G. Zilzer).

lente, ne pourra guère que diminuer et retarder sa rétraction. Mais une action locale, directe, suffisamment intense et rapide, accentuera d'abord la rétraction, puis l'inversion, et provoquera une dilatation, *gonflement localisé* ou *bosse* : « bosse » est ici un terme générique et abrégé pour « gonflement localisé ».

Les bossus sont d'incontestables hypertoniques. J'ignore jusqu'à quel point il est licite d'assimiler la bosse des bossus à un cas de

Digitized by Google

paroxysme pathologique des « bosses » maintenant envisagées. Mais il est certain que les apparences sont telles, et que les parties du corps d'un bossu qui ne sont pas déformées ont en général un

Fig. 175. — Hypertonicité. Rétracté-bossué.

Fig. 176. — Hypertonicité. Rétracté-bossué. (G. Zilzer).

aspect aigu, tout à fait caractéristique d'un haut degré de rétraction.

Enfin, un organisme qui s'est constitué comme il a été dit, portera la marque d'une différenciation plus variée que celle des mésotoniques. En particulier, certaines de ses régions, les plus nombreuses, auront une tonicité très élevée, et quelques autres une tonicité basse. Et les mêmes valeurs d'excitant qui accentueront la rétraction des régions à tonicité élevée feront se dilater les régions à tonicité basse, et donneront, une nouvelle fois, des gonflements localisés ou bosses.

Ainsi, chez un même individu, ou bien d'une génération à la suivante, avec un accroissement de la tonicité, au type mésotonique succède un type à deux tendances inverses, lui donnant un double caractère : un caractère fondamental, dominant, ***rétracté***, et un

Digitized by Google

caractère secondaire, *bossué*. Les trois figures 174, 175, 176 montrent bien cette double tendance.

Variétés du type rétracté.

On peut prévoir la localisation et l'évolution de ce bosselage ou bossuage.

Des quatre appareils D, R, M, C, d'un mésotonique, trois d'entre eux offrent une tonicité pratiquement la même, et supérieure à celle de l'appareil prédominant. Dès lors, les probabilités sont pour que l'évolution en hypertonicité suive cette amorce préalable, c'est-à-dire accroisse la tonicité des trois appareils équivalents, et abaisse encore, éventuellement, celle de l'appareil prédominant. Il en résultera une expansion nouvelle de ce dernier, la rétraction des trois premiers, et il se constituera ainsi une première variété à trois appareils effacés, à côté d'*une* grande « bosse », non seulement prédominante, mais *dominatrice*.

Avant de passer aux variétés suivantes, une petite remarque se présente. Le processus indiqué n'est pas le seul qui puisse donner naissance à une prédominance non discrète de l'un des appareils considérés. Un traumatisme localisé peut y suffire (première loi de Bose). Toutefois, avec un traumatisme caractérisé, on s'éloigne de l'évolution normale proprement dite, et l'on bifurque dans une voie latérale pathologique, sans discontinuité d'ailleurs. Sous peine de compliquer fâcheusement cet exposé, nous avons dû convenir d'envisager à part, et plus tard, le cas de la maladie. Mais nous avons ici l'occasion de montrer comment une influence pathologique peut provoquer la venue d'une variété morphologique « paradoxale », c'est-à-dire où la prédominance très visible est une prédominance secondaire, dont l'expansion toute accidentelle attire les regards avant la première vraie prédominance.

Soit, en effet, un mésotonique ordinaire à deux prédominances inégales, une principale et une secondaire. C'est la première qui attire d'abord les regards. Si, maintenant, un choc très local et vif affecte l'appareil secondaire, celui-ci peut subir les deux modifications successives rétraction-expansion (schéma *fig.* 154) et se dilater, parfois avec exubérance. Il peut même ne subir qu'une expansion partielle,

Digitized by Google

mais dont l'amplitude accapare l'attention, et tend à faire passer au second plan l'appareil réellement principal. Par exemple, qui n'a rencontré des individus présentant une première prédominance musculaire vraie, discrète, nette, complète, bien reconnaissable en toute partie de leur organisme, mais qui ne se voyait pas du premier coup d'œil, parce que le visage porte, telle une greffe hétéroclite, un nez énorme, démesuré, déformation outrée de l'organe modéré qui eût été en harmonie avec une seconde prédominance respiratoire ordinaire : variété respiratoire-musculaire paradoxale. Or, dans de tels cas, il est fréquent de retrouver au thorax les marques d'un choc pathologique ancien, et de relever partout ailleurs des indices de rétraction.

Ce sont les cas de ce genre, mais moins nets, qui constituent souvent pour l'analyse morphologique tout un problème de déchiffrage.

L'exemple donné montre que la maladie agit en exagérant l'amplitude des réactions ordinaires, et en tendant à introduire des dissociations dans les réactions habituellement liées. Nous y reviendrons au paragraphe 58.

Revenons à l'évolution du type rétracté.

A une bosse unique, considérable, dominatrice, succéderont ensuite *quelques* bosses, encore *hautes* et *assez étendues*, situées au niveau de l'appareil prédominant.

Puis viendront des bosses *nombreuses*, *basses*, et *peu étendues*.

Et finalement se présentera le type extrême, mentionné tout à l'heure, dépourvu de bosses, *uniformément rétracté*. On le rencontre à l'état adulte, et à peu près normal. Il n'est pas très fréquent. Nous disons « à peu près » normal, parce qu'une rétraction aussi généralisée est souvent subpathologique : des enfants, à certaines phases de leur croissance, les grands convalescents, et les rétractés nets, à la fin de leur vie, en sont des exemples familiers à tous.

De l'hypotonique, uniformément arrondi et dilaté, à l'hypertonique uniformément rétracté, la succession des types morphologiques correspond à la partie du schéma qui va de M à N. Le Tableau III ci-contre la résume.

Au delà de N, la courbe remonte vers l'axe horizontal, le coupe en B, et continue de l'autre côté son mouvement ascendant. En même

Digitized by Google

temps, décroît d'abord l'amplitude des réactions négatives, et croît celle des réactions positives, de moins en moins masquées; puis les unes et les autres s'annulent en B; et au delà, les réactions recommencent à croître, positives, et tendent vers un maximum. Cela signifie qu'après les types hypertoniques que nous quittons se dessineront de nouveaux mésotoniques, après ceux-ci de nouveaux hypotoniques, et ainsi de suite : dilatés, moyens, rétractés, moyens dilatés, etc.

Il va de soi que cette indication, *comme toutes celles de ce Chapitre*, est schématique, et pourra, en conséquence, connaître de nombreuses exceptions, dont chacune devrait être analysée. Mais une telle étude ne peut trouver place dans le résumé actuel.

TABLEAU III.

Succession des types morphologiques.

RÉGIONS DU SCHÉMA.	TONICITÉS.	TYPES.	VARIÉTÉS.
(α).....	Hypotonicité	dilatés	Dilaté, uniformément arrondi. Pseudo-polyédrique arrondi. Quelques méplats concaves, étendus. Méplats concaves nombreux, petits.
(β).....	Mésotonicité	moyens	Type moyen proprement dit, indécis. Une prédominance (4 variétés : D, R, M, C). Deux prédominances (6 ou 12 variétés). Appareils d'importance distincte (24 variétés).
(γ).....	Hypertonicité	rétractés	Une grande bosse, dominatrice. Quelques bosses, hautes. Bosses nombreuses, basses. Uniformément rétracté.

Remarque.

Pour les hypotoniques, la question d'une correspondance entre prédominance morphologique et prédominance fonctionnelle ne se

Digitized by Google

posait pas, puisque la forme se dilatait dans son ensemble, sans localisation privilégiée. Chez les mésotoniques, se dessine une sorte de parallélisme entre les prédominances morphologique et fonctionnelle. A l'égard des hypertoniques, on ne peut plus rien affirmer, parce qu'on ignore les taux respectifs des quantités d'énergie transformées par les régions bossuées et par les régions rétractées.

Cette évaluation, d'ailleurs, ne suffirait pas. Il faudrait encore savoir quelle est la qualité des énergies transmises. On sait, en effet, que les diverses formes d'énergie ne sont pas toujours équivalentes, qu'il y a des formes, dites supérieures, comme l'énergie mécanique, élastique, électrique, etc., et des formes inférieures, telles que la chaleur, la lumière, les chaleurs latentes de changement d'état physique, etc. Or, s'il est vraisemblable, ou probable, que la dilatation morphologique corresponde à une opération énergétique de qualité plutôt inférieure, que la morphologie dite « moyenne » corresponde à des échanges d'énergie de qualité moyenne, et que la rétraction aille de pair avec des opérations énergétiques de qualité plutôt supérieure, on ne sait, à ce sujet, rien d'efficace, et l'on ne peut, par conséquent, rien formuler de précis.

Ce sont les faits de ce genre, non point rares, qui font déplorer que la Morphologie actuelle ne se soit point encore souciée d'une étude de la tonicité, qui cependant est pour elle de toute première nécessité : sans connaissances énergétiques précises tout avenir lui est impossible.

La notion de tonicité est assez analogue à celle d'un rendement. La valeur d'un rendement est toujours plus petite que 1; on peut imaginer, sans absurdité, un rendement égal à 1, mais il est pratiquement irréalisable; et un rendement plus grand que 1 n'a aucun sens. De même, envisagées, non pas à un instant donné, mais pour une vie entière, l'hypotonicité se conçoit aisément, la mésotonicité apparaît comme un cas théorique jamais atteint, et l'hypertonicité n'est pas concevable. En réalité, les choses sont loin d'être aussi tranchées, et, au début du paragraphe 53, nous avons pu demander à nous servir quand même de ces trois termes, parce que la variabilité de la matière vivante, sa propriété d'accumuler les énergies du dehors et d'en différer la transmission, rendait leur emploi provisoirement valable. En effet, la phrase : « Un individu évolue en hypo-, en méso- ou en hypertonicité » suppose la constitution

Digitized by Google

préalable d'une sorte de stock ou de réserve d'énergie, dont la nature n'est pas connue, mais qui, sans préjudice d'autres facteurs, est évidemment liée aux phénomènes de la croissance. Là est, peut-être, l'une des raisons de la complexité particulière de celle-ci qui, par exemple, rend malaisé de poursuivre, plus loin que la deuxième enfance et le début de la troisième, le parallélisme entre les prédominances morphologique et fonctionnelle, tel que le présente, un peu plus tard, l'adulte « moyen ».

La matière vivante est d'ailleurs trop variable pour qu'un organisme adulte puisse jamais être considéré comme un appareil fonctionnant en régime permanent, au sens donné à cette expression en Physique (1). On sait aussi qu'en plus de ses fluctuations incessantes, la tonicité d'un individu subit une perturbation assez considérable à l'âge dit « critique », où commence à décliner l'activité des sécrétions génitales internes. Mais il n'en reste pas moins exact que la phrase entre guillemets, de l'alinéa précédent, exprime une vérité approchée, *statistique*, et, sous ces multiples réserves, est approximativement valable pour l'âge adulte, ce qui justifie son emploi.

Sait-on au moins à quoi est due, ou par quoi est régie l'hypotonicité des uns, la méso- ou l'hypertonicité des autres ? En aucune manière. Les présomptions sont pour une action du système nerveux, et pour celle, connexe, des glandes à sécrétion interne, mais nous avons déjà dit que la Morphologie nouvelle n'avait, malheureusement, pas encore tenté de faire sa liaison avec plusieurs branches importantes de la Physiologie, dont la neurologie, l'endocrinologie, etc.

57. — COMPARAISON SOMMAIRE ENTRE LES TROIS TYPES MORPHOLOGIQUES.

Sans quitter le terrain *statistique*, qui seul donne un sens à une telle question, on peut se demander quelle est, *grosso-modo*, la valeur relative des trois types, dilaté, « moyen », et rétracté.

Elle dépend évidemment des degrés respectifs de la tonicité, de l'adaptabilité et du signe des réactions, mais il faut (comme plus

(1) En Physique, le régime permanent, ou, en abrégé, « l'état de régime », est atteint, lorsque, dans des temps successifs égaux, se reproduisent exactement les mêmes phénomènes.

Digitized by Google

haut, pour les quatre variétés du type moyen) distinguer entre les points de vue biologique et social.

Au point de vue biologique, il est clair que l'avantage appartient au type d'adaptabilité optima, c'est-à-dire au type « moyen ». L'amplitude minima de ses réactions, la facilité et la rapidité de leurs changements de signe, ou, à la lettre, leur insignifiance, assurent à ce type le meilleur équilibre avec le milieu, lui font garder le « juste milieu », comme dit le langage courant. Ce sont là toutes garanties de bonne santé, ou, en cas d'accroc fortuit à celle-ci, les conditions d'un rétablissement prompt et complet. Le type mésotonique n'est, en effet, quasiment jamais malade, et les médecins lui en expriment toute leur admiration.

Pareil sentiment ne saurait être conçu pour le dilaté, pratiquement inadaptable, ni pour le rétracté, dont l'adaptabilité est variable et incertaine. Alors que sur un individu « moyen », une action modérée est toujours efficace, il faut, pour agir sur un dilaté, de grandes valeurs de l'excitant ou du temps. L'un d'eux me disait : « C'est curieux, quoi qu'il m'arrive, je reste longtemps sans réagir. Puis, finalement, quelque chose se déclenche, et alors je me rue. Mais ensuite je ne peux plus m'arrêter. » Un tel aveu est tout à fait caractéristique. Avec un rétracté, au contraire, la complexité de ses réactions impose de ne le soumettre qu'à des actions minimes et brèves, sous peine de provoquer des réactions beaucoup plus vives que celles prévues, ou même, d'en renverser le signe. On se rend bien compte que l'une ou l'autre de ces deux dernières manières de réagir sont une prime aux incidents pathologiques, et entraînent une diminution de l'indice de vitalité.

Personne, à ma connaissance, n'a jamais eu l'idée de rechercher si ces différences de sensibilité, liées au volume, ou au diamètre relatif, sont aussi liées à des différences dans la vitesse de l'influx nerveux. Bose l'a fait pour les plantes [1]. Il a trouvé, par exemple, que la vitesse de l'influx nerveux, dans les pétioles *minces* de *Mimosa pudica*, est, en moyenne, neuf fois plus élevée, environ, que dans les pétioles *gros*, et que le phénomène est général. Ce résultat est hautement suggestif à l'égard du problème qui nous occupe. Bose ne s'en

---

(1) *Le mécanisme nerveux des plantes*. Trad. Ed. Monod-Herzen (Paris, Gauthier-Villars, 1928).

Digitized by Google

est d'ailleurs pas tenu là, et a mesuré les vitesses respectives de l'influx dans les divers organes de la plante, les variations saisonnières (chaleur, lumière, etc.) ou celles dues aux agents les plus divers. Souhaitons qu'on obtienne un jour, pour l'homme, ce qui est dès maintenant acquis pour la plante.

Il n'y a pas que le domaine physique où les dilatés soient peu sensibles, les mésotoniques moyennement sensibles, et les rétractés très sensibles. Il en est de même dans les domaines psychologique et moral. Mais ici nous touchons au second des deux points que nous devions considérer.

Au point de vue social, le classement qu'on vient d'esquisser ne peut plus être maintenu, sauf pour l'un des trois types. En effet, la quantité et la diversité des énergies transmises, permettant de multiples combinaisons, sont une condition initiale efficace de la *qualité* de ces énergies, condition non suffisante, mais importante, sinon même nécessaire. Or, il est bien certain que le dilaté, avec son hypotonicité et l'uniformité de ses réactions, se retrouve ici encore au bas de l'échelle. Après lui, vient le type « moyen », dont les réactions sont variées, mais minimes, et dont la grande adaptabilité, ou souplesse, si elle est d'un grand avantage pratique et positif, a pour rançon l'impersonnalité et le manque de caractère. C'est là ce que nous entendions plus haut en disant que cet « optimum » était une vertu des plus relatives. Enfin, la plus haute valeur ici est évidemment celle du rétracté, à cause de son hypertonicité, de la vivacité et de la richesse de ses réactions complexes : tels beaucoup de grands créateurs, et surtout de grands artistes. Ce qui distingue la majorité des rétractés, c'est l'irrégularité de leur morphologie, qui rend malaisé d'y reconnaître une prédominance nette. Telle est la raison pour laquelle, en effet, il n'y a pas, en général, de type spécial aux grands hommes. Il y a des exceptions, nombreuses, cela va sans dire, mais nous avons prévenu que nous n'exprimions ici que des vérités statistiques et simplifiées.

La richesse des réactions a, d'autre part, sa rançon. Chacun a pu noter les incohérences apparentes, présentées, à des degrés divers, par nos réactions psychologiques, la « suggestion des contraires », si fréquente dans Shakespeare, les « contradictions du cœur humain », si bien relevées par La Rochefoucauld et par La Bruyère, etc., toutes choses, entre autres, si souvent reprochées aux artistes. Or, un peu

Digitized by Google

d'observation montre assez vite que les types dilatés sont « tout ronds » au moral comme au physique, que là comme ailleurs les mésotoniques sont moyens, et que les traits incriminés sont surtout le fait des rétractés.

Il y a également rançon dans le domaine physique. Bose a montré, on se le rappelle, qu'aux réactions positives étaient liées des impressions agréables, et aux réactions négatives des impressions désagréables. Et tandis que les dilatés, aux réactions positives, évoluent en une sorte d'euphorie bien connue, et que les types « moyens », avec leurs réactions minimes tantôt positives et tantôt négatives, « half and half », moitié-moitié, comme dit l'anglais, viennent et passent dans une indifférence relative, les rétractés, aux réactions négatives complexes, vivent dans le tourment, ou, plus exactement, vont de l'espoir à l'angoisse, et d'un peu de bonheur, parfois extrême, à beaucoup de peine, extrême aussi : que l'on pense à la vie d'un Michel-Ange, de certains grands inspirés, etc.

Sans répéter la phrase, manifestement absurde, que le génie est une névrose, on a dit souvent que la maladie est une des conditions du talent créateur. Sous cette forme, ce semblant d'atténuation ne vaut pas mieux que la phrase absurde, mais on peut concevoir ce qui lui a donné naissance. Parmi les données caractérisant les rétractés, les unes (la richesse des réactions) favorisent le développement du talent, et d'autres (l'adaptabilité irrégulière) favorisent les incidents pathologiques. D'où la remarque, exacte, que certains hommes éminents sont en même temps des valétudinaires. Mais c'est là une concomitance fâcheuse, nullement un lien nécessaire, et bien moins encore une relation de cause à effet : on doit simplement en conclure que ces hommes ne vivent pas dans le milieu qui leur convient; et, que, s'ils y vivaient, leur activité créatrice serait encore supérieure.

Il y a des exceptions apparentes. Le regain d'activité du patient, à certaines phases de la tuberculose où de la paralysie générale, est de connaissance banale. Il s'agit là d'un phénomène important, sur lequel nous reviendrons dans un instant, dû à un accroissement quantitatif, tout temporaire d'ailleurs, de la tonicité générale du sujet, mais non du tout de la genèse de qualités nouvelles. Par exemple, dans un cas simple, parce qu'il prête parfois à notation, celui des

Digitized by Google

hallucinations visuelles (1), il est aisé de se rendre compte que l'esthétique de l'hallucination ne vaut que celle de l'halluciné, c'est-à-dire que l'excitant a mis en jeu les dons habituels du sujet, mais n'en a pas créé de nouveaux. Entendons bien que l'hallucination notée peut être d'un « genre » tout différent de celui des œuvres conçues d'ordinaire, mais elle ne révèle nullement la manifestation subite d'un talent jusque-là inexistant. En d'autres termes, sauf en des cas théoriquement possibles, mais à coup sûr très exceptionnels, et certainement fortuits, les dons de création ne sont pas des accidents pathologiques : tout au plus, les dons qui existaient déjà peuvent-ils connaître une exaltation temporaire.

Bien loin même d'admettre la maladie comme la conséquence inévitable des éléments antagonistes des réactions complexes, il y a tout avantage, pour la création elle-même, à discipliner les tendances contraires, jusqu'à cette opération, appelée, si justement, par la psychologie moderne, la « sublimation » de certaines impulsions. Et si, dans cette voie, l'Occident en est à des premiers pas, les Sages de l'Orient y sont, depuis longtemps, passés maîtres.

D'une manière moins particulière, les préceptes généraux d'hygiène optima propre aux trois types peuvent se résumer très simplement par la recommandation suivante : tendre à hâter l'évolution de M en I (schéma *fig.* 155, p. 48), maintenir en I ceux qui s'y trouvent (il a déjà été parlé du régime propre aux variétés du type moyen); tendre à ralentir l'évolution de I en N. Pour obtenir cela, on sait que certaines actions se traduisent par une absorption d'énergie, et d'autres par une dépense (*cf.* lois de Bose, § 49, p. 24 et 25). Avec les dilatés, on aura donc la ressource, soit de restrictions ou privations graduées, soit d'une thérapeutique de choc; avec les rétractés, au contraire, on usera de doses minimes à tous égards; etc.

58. — PASSAGE DE L'ÉTAT DE SANTÉ A L'ÉTAT DE MALADIE.

Nous avons insisté sur ce fait que la maladie n'est pas génératrice de talent.

Mais si sa présence coïncide avec un accroissement de la tonicité

(1) Sous-entendu : pathologiques, car il y a des cas où des individus en parfait état de santé peuvent avoir des hallucinations.

Digitized by Google

générale, ne peut-on la considérer comme indirectement favorable à l'individu ?

Pas davantage. Tout d'abord, un accroissement de la tonicité n'est pas favorable en soi, *a priori*. Les recommandations précédentes indiquent, au contraire, que si un tel accroissement est désirable en cas d'hypotonicité, des réserves doivent toujours être formulées pour les autres cas.

Mais, même en supposant qu'en l'espèce actuelle un accroissement de la tonicité soit chose favorable, il ne s'ensuit nullement que l'individu soit redevable d'un bienfait à la maladie.

Pour s'en rendre compte, il suffit de revoir comment varient nos réactions, en se rappelant que les schémas représentatifs conservent le même type, c'est-à-dire restent valables, qu'il s'agisse d'un épisode momentané, petite ou grande partie d'une vie, d'une vie entière, ou d'une suite de générations.

Soit une matière vivante, dans une position initiale d'équilibre relatif, ou état initial. Toute action appliquée à elle l'écarte de cet état, et se traduit par une distorsion moléculaire. Plus exactement, le nouvel état, déformation du précédent, apparaît comme la résultante de distorsions élémentaires.

La matière possède des qualités d'*élasticité*, de *viscosité*, de *plasticité*. On a vu comment, par le jeu des deux premières, après application d'un excitant, la matière peut effectuer une série d'oscillations autour de son état initial, ou revenir apériodiquement à cet état, ou ne plus pouvoir y revenir, et garder une distorsion définitive.

Isolées ou multiples, simples ou composées, passagères ou définitives, à ces distorsions correspondent trois modifications : dans la forme, dans la structure, et dans les échanges entre les tissus. En même temps, il peut, ou non, se produire, soit un dépôt de matière nouvelle et une expansion locale ou générale, soit une élimination de matière et une rétraction locale ou générale. Les schémas donnés, et tout ce qui a été dit jusqu'ici, résument l'allure générale de la variation de ces phénomènes *pour une valeur modérée*, ou moyenne, de l'*amplitude des distorsions*.

Ce faisant, on supposait implicitement se tenir en deçà des limites de plasticité de la matière envisagée, ce qui revient à supposer cette matière en état fonctionnel moyen ou « normal ». En effet, tant que les distorsions ne dépassent pas une certaine amplitude, la matière

Digitized by Google

vivante continue à présenter l'ensemble cohérent de ses fonctionnements habituels, régime de stabilité relative, ou état de santé.

Mais si l'amplitude des distorsions dépasse une certaine valeur, alors apparaît peu à peu toute une suite de perturbations progressives, alternant ou non avec les perturbations inverses comme l'indiquent les deux schémas, toujours valables (*fig.* 154 et *fig.* 155) [1] : expansions et rétractions, d'amplitude inaccoutumée; tension et détente; contracture, spasme et atonie; stase ou arrêt de la fonction et des échanges, et activité déréglée; etc. : l'état de *maladie* « se déclare ». Ses caractéristiques principales, parmi beaucoup d'autres, sont une exagération considérable de l'amplitude des réactions normales, ou, inversement, une diminution, non moins considérable de cette amplitude, la dissociation de réactions habituellement liées, et la cessation, ou rupture de cet état d'orientation convergente des fonctions, qui est le propre d'une vie normale. Puis, sur ce désordre se dessine une réorganisation, non pas celle de l'individu, mais celle de la maladie, qui a ses caractères propres de cohérence et de convergence, sorte de vie nouvelle, greffée sur l'autre, et prospérant aux dépens de celle-ci [2].

Aucune différence d'essence ne sépare les réactions normales des réactions pathologiques. On peut, nous l'avons vu, considérer que la croissance est une tuméfaction opportune et heureuse, ou que la tuméfaction est une croissance intempestive et fâcheuse. Une évolution normale permet d'aller du type dilaté au type bossué, et il semble bien que le bossu ne soit, ensuite, que l'extension, devenue pathologique, du bossué. Etc.

Signalons, en passant, deux choses. D'une part, avec certaines modalités dans l'apport des énergies du dehors, du dilaté, simple et uniforme, au bossué, beaucoup plus complexe, se dessine et s'accentue une différenciation individuelle, ou « individualisation », comme on dit parfois. D'autre part, le fait pathologique se présente comme un « révélateur », fort utile pour l'étude des réactions normales, car l'exagération et la dissociation des facteurs, habituellement

---

[1] *Cf.* fin de la Remarque I, § 52, p. 46. *Cf.* aussi, un peu plus loin, le 3° de la Remarque prochaine, p. 111.

[2] Le phénomène est particulièrement frappant en psychiatrie, où on le dénomme parfois « systématisation ». Le terme d'*organisation*, plus compréhensif, me paraît préférable.

Digitized by Google

unis, permet entre eux une discrimination qui, sans cela, serait souvent très difficile.

Il n'y a pas, non plus, démarcation dans le temps, entre l'état de santé et celui de maladie. En mettant à part les désordres causés par un traumatisme direct, comme une blessure, l'ingestion d'un poison violent, etc., la maladie ne survient jamais *ex abrupto*. Elle ne peut naître et se développer que grâce à des conditions préalables (désignées dans le langage médical par les termes de « terrain », de « dispositions », d' « état de réceptivité ») qui sont dues à des distorsions dépassant les limites d'élasticité et de plasticité du sujet. La maladie présente donc de grandes analogies avec des phénomènes connus, étudiés en Physique, et notamment avec celui des « oscillations forcées ». Elle est toujours l'aboutissant de troubles progressifs, parfaitement liés; et, de l'état de santé à l'état de maladie, il existe un « passage » tout à fait continu.

Dès lors, la question qui nous occupe prend un aspect simple. L'apport des énergies du dehors est, au début, favorable à l'activité de l'individu, et lui reste favorable tant que l'assimilation de ces énergies reste « normale », c'est-à-dire reste en deçà des « limites » [1] de l'individu. Le talent, si l'individu en possède un, est *l'un* des résultats des apports d'énergie. Mais si les « limites » de l'individu sont dépassées, un *autre* résultat survient, le désordre, dit « pathologique ». L'un et l'autre de ces deux résultats sont donc la *conséquence* des apports d'énergie, heureuse dans le premier cas, fâcheuse dans le second. Mais il n'y a entre eux aucune relation de cause à effet, et il suffirait, par exemple, que le degré de plasticité fût plus élevé pour que la maladie ne survînt pas. La maladie n'est donc pas plus cause de talent ou de bienfait indirect pour l'individu, que le talent n'est, pour celui-ci, cause de maladie ou de méfait quelconque.

Remarques.

L'étude des déformations pathologiques, ou, plus généralement, des rapports de la Morphologie et de la Pathologie, met partout en évidence la combinaison des actions du dehors avec les propriétés individuelles de la matière en cause. Elle constitue

[1] Abrégé pour : limites d'élasticité et de plasticité.

Digitized by Google

une nouvelle illustration des notions générales données dans la première partie de ce Chapitre. Les idées de Houssay et les lois de Bose s'y appliquent de la même manière, et le type des schémas représentatifs reste le même.

Tout ceci ne saurait surprendre, puisque nous venons de noter qu'un « passage » progressif et continu mène de l'état de santé à l'état de maladie. Mais il en résulte qu'une telle étude, si importante soit-elle à d'autres points de vue, n'apporterait pas à l'exposé actuel d'élément nouveau proprement dit. Nous pouvons donc nous borner à la constatation de l'alinéa précédent, et nous terminerons ce Chapitre par deux ou trois remarques, presque évidentes, et que l'on peut, en conséquence, énoncer sans développement.

1° Il ne devrait pas être besoin de dire qu'une recherche médicale, quelle qu'elle soit, doit, pour être complète, envisager, d'une part les actions du dehors, et d'autre part les qualités individuelles du sujet.

Dans l'étude des *causes des maladies* et des caractéristiques de leur *genèse*, la Médecine ordinaire habituelle ne s'occupe guère que des actions du dehors. (A la fin de ce paragraphe, avant-dernier alinéa, on verra comment elle considère le patient.) Une tentative médicale nouvelle, intitulée « morphologique », ne s'occupe guère que des qualités individuelles du patient.

L'une et l'autre n'aperçoivent donc que la moitié de la question.

2° Dans les cas difficiles ou douteux, pour formuler un *pronostic* (comme aussi pour établir le *diagnostic*), les indications d'amplitude et de signe des réactions sont insuffisantes. Seules pourront leur donner une pleine signification la connaissance de la tonicité, et celle de la courbe d'évolution propre au cas traité, dont les schémas déjà vus ne dessinent que le type général, non particularisé.

Il est superflu d'insister à nouveau sur l'importance de ces deux notions.

3° En *thérapeutique* dominent, parmi d'autres, quatre données très générales. Deux d'entre elles concernent plus particulièrement les actions du dehors, et la quatrième plus particulièrement les qualités individuelles du malade.

Les deux premières sont constituées par la double loi de Bose :

Digitized by Google

a : « Une action d'ensemble, modérée, lente, a pour conséquence une absorption d'énergie (variation positive des réactions). »

t : « Une action locale, proche, intense, brusque, a pour conséquence une transmission ou dépense d'énergie (variation négative des réactions). »

Elle est complétée par la suivante :

r : « En prolongeant suffisamment l'une ou l'autre des actions précédentes, les réactions changent de sens, ou se « renversent » (schémas *fig.* 154-155).

s : Et la loi de synergie indique les modifications correspondantes de la turgescence, de la croissance, etc.

La thérapeutique dite « symptomatique », en présence des symptômes d'une maladie, traite le symptôme, c'est-à-dire cherche un agent, directement approprié à ce symptôme, qui le fasse rétrocéder et disparaître. Cette thérapeutique relève de la loi **t**. La presque totalité, la totalité, peut-on dire, de notre pharmacopée, et de très nombreuses « thérapies » : phyto-colloïdo-organo-vaccino-séro-électro-radio-thérapies, etc., font partie de cette thérapeutique, qui mérite assez bien le nom de thérapeutique de *choc*.

La thérapeutique de *régime*, supposée parfaite, est une application de la loi **a**, combinée (comme la thérapeutique de choc) avec **r**. Nous avons ajouté le correctif « supposée parfaite » parce que le terme de régime est trop élastique, et que les conséquences de ce que l'on appelle une erreur de régime sont celles d'un choc. On voit par là qu'il y a un « passage » continu du régime au choc, de l'aliment au médicament et au toxique, ou inversement.

De même, il y a aussi un « passage » évident de l'une des deux thérapeutiques à l'autre, et l'énoncé des deux lois qui les caractérisent suffit à en prévoir, suivant les cas, les avantages, les insuffisances ou les dangers éventuels.

Il n'est pas judicieux de chercher, comme on le fait souvent, à exalter les mérites de l'une de ces deux thérapeutiques, aux dépens de l'autre. L'une d'elles ayant pour conséquence une absorption d'énergie, et l'autre une dépense d'énergie, elles sont en quelque manière complémentaires, et l'idéal n'est pas de les opposer, mais de les associer et de les unir.

Digitized by Google

La troisième donnée qui domine la thérapeutique est le phénomène du renversement des réactions, pour certaines valeurs de l'excitant ou du temps, et *a fortiori*, des deux. Ici l'excitant est le médicament, l'intensité de l'excitant est la dose de celui-ci, et le temps est la durée de son application et sa répétition.

Les schémas qui représentent la variation des réactions à un médicament sont du même type que ceux déjà vus : une suite d'alternances, de part et d'autre d'un axe de référence.

Il serait d'un grand intérêt de connaître la loi de variation des portées de ces alternances. Dans certains cas, les portées peuvent être grandes et ne rendent pas aisément manifeste le phénomène du renversement, qui cependant est général. Les limites de la tolérance d'un sujet, à l'égard d'un médicament donné, arrêtent très vite les expériences faites avec des doses croissantes. Cet inconvénient disparaît avec les doses décroissantes. La première étude des effets des doses minimes, et la première notion du renversement des réactions, dans ce domaine, sont dues aux *homéopathes*, qui ont également étudié les effets de la répétition d'une dose donnée, et sont arrivés à des résultats remarquables.

Tout comme pour les thérapeutiques de régime et de choc, il n'est que regrettable de chercher à opposer l'*allopathie* et l'*homéopathie*. L'une complète l'autre. Il est d'autant plus souhaitable de les associer et de les unir, que la colloïdothérapie et les phénomènes de la catalyse font le « passage » naturel de l'une à l'autre.

Mais, et ceci est la quatrième donnée, ni les lois de Bose, ni telle autre loi générale des réactions, comme celle de leur renversement, ne s'appliquent d'une manière *identique* à tous les individus. Nous savons, au contraire, que, dans le détail, les résultats varient avec le type morphologique. Ainsi, le paragraphe 57 a indiqué sommairement la manière différente dont réagissaient les trois types. Il s'ensuit qu'une certaine dose d'un médicament peut être violente pour un rétracté, d'efficacité moyenne pour un mésotonique, et nulle pour un dilaté ; et les renversements éventuels diffèrent entre eux d'autant. Or, ce qui est détail ou particularité dans la manière dont la loi générale se vérifie peut devenir d'une importance capitale pour un patient. Toute thérapeutique doit donc toujours être subordonnée à la discrimination préalable du type morphologique. Il en

Digitized by Google

est de même du genre de vie de tous les jours : on l'a vu dans un cas simple, pour les variétés du type « moyen » (§ 55).

Nous disions tout à l'heure que la Médecine ordinaire, courante, s'occupe presque exclusivement des actions du dehors. En effet, elle suppose implicitement l'existence d'un type de référence, qui serait le type rigoureusement moyen, soi-disant le seul « normal », et auquel toutes les actions et réactions sont rapportées. Cependant, ni le type rétracté ni le type dilaté ne sont des types moyens. Quant aux types intermédiaires, de tonicité moyenne, ou types « moyens », cette désignation générique groupe ensemble tantôt 4, tantôt 6, ou 12, ou 24 variétés principales, avec d'innombrables variétés de transition. A la vérité, nous avons bien mentionné une première variété, type moyen proprement dit, ou « indécis ». Mais il résulterait d'une mésotonicité rigoureuse, dont il n'est pas d'exemple, et de la juste équivalence, assez rare en pratique, des quatre régimes D, R, M, C. Son existence est donc problématique. Même matériellement possible et supposée réalisée, elle apparaît combien improbable, et surtout exceptionnelle, *en présence de la différenciation fonctionnelle qui est la règle générale* (1). On est donc fondé à dire que, dans la pratique, la Médecine habituelle ne s'occupe guère que des actions du milieu.

Dans cette voie, elle a d'ailleurs fait de grandes découvertes. Mais il faut souhaiter qu'elle les complète grâce aux données précieuses de la Morphologie *et de la Tonicité.*

---

(1) En raison de la différenciation morphologique corrélative, la recherche d'un « canon de proportion » pour la beauté humaine, prête aux mêmes critiques, indépendamment de ce qui sera dit aux paragraphes 60 et suivants.

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

ESTHÉTIQUE.

59. — DÉFINITIONS.

L Esthétique a déjà été touchée à plusieurs reprises au cours de cet exposé, dont elle est le prolongement naturel.

Il n'est pas question d'en donner ici un aperçu quelque peu complet, même de loin. Nous nous proposons seulement d'en amorcer l'étude, en montrant comment elle se rattache au grand problème de la Transformation des figures.

Ce point de vue peut paraître assez spécial, mais il ne l'est qu'en apparence. Il est la suite logique, directe, de ce qui précède, et est en accord étroit avec l'intention exprimée à la fin de notre Avant-Propos (1).

Pour ne pas sortir du cadre de ce Livre, il ne sera parlé que des Formes. Mais, sauf exceptions évidentes, nos conclusions sont valables pour toute l'Esthétique.

L'*Esthétique* est l'étude des principes communs à tous les arts, ou, en abrégeant, des principes de l'*Art*.

L'*Art* est l'ensemble des moyens employés pour réaliser une certaine *œuvre*.

L'*Œuvre d'Art* est l'expression tangible, la fixation en un objet, ou *objectivation*, d'un état psycho-physiologique complexe, où n'existe pas seule, mais où domine une émotion particulière, dite *esthétique*.

(1) A un point de vue très différent, bien qu'ayant avec le nôtre certains points de contact, on lira avec intérêt : *Tonkunst u. Bildende Kunst*, von Felix Auerbach (Jena, Fischer, 1924).

Digitized by Google

A l'origine de toute *émotion esthétique*, est une *impression sensorielle*, due à une *action du dehors* : son, couleur, forme.

Pour nous : une *Forme*, impressionnant le *regard*.

On est donc conduit : d'abord à l'examen de toutes les formes existantes; ensuite, à l'étude des formes dans leurs rapports avec les impressions visuelles; puis à l'étude des formes dans leurs rapports avec les émotions esthétiques, ou, en d'autres termes, à l'étude des conditions de l'Harmonie des Formes; enfin, à l'étude de la réalisation d'une œuvre, en une matière proposée.

Le premier de ces quatre points est l'objet même de ce Livre. Le quatrième point a été rencontré au paragraphe 39 du Chapitre IV (t. I, p. 176). Il sera développé ailleurs. Les indications qui seront résumées ici concernent les deuxième et troisième points.

60. — NOTE PRÉALABLE.

Deux notes préalables sont nécessaires, dont l'une est relative aux recherches infructueuses sur l'Esthétique des Formes, et dont l'autre est relative au « public ».

1° Les tentatives faites pour trouver les bases précises d'une Esthétique des Formes n'ont jusqu'ici fait appel qu'à divers systèmes de mensurations et de moyennes. L'erreur de méthode, ainsi commise, est considérable, et pareille à celle qui consisterait, pour comprendre l'élégance d'une arête glacée, en haute montagne, à en isoler de minimes cristaux, et à mesurer leurs angles, les dimensions de leurs facettes, etc. Les *rudiments* des Sciences exactes seront toujours, *ipso facto*, en tant que rudiments, insuffisants, et même nuisibles.

Insuffisants, parce que le nombre restreint des notions qu'ils envisagent est infime en face de la variété sans limite de la *nuance* : les données, dans l'un et l'autre cas, ne sont pas à la même *échelle*, et ne sont donc pas justiciables de la même méthode. Il n'est pas besoin d'aller chercher plus loin la raison de l'inefficacité totale, en Esthétique, des mensurations et des moyennes.

Nuisibles, parce que les problèmes accessibles aux rudiments en question ne conduisent jamais qu'à une seule solution, et font croire que l'idée de loi est inséparable de la circonstance d'une solution

Digitized by Google

unique. Or, ceci est une autre erreur essentielle, car les problèmes rencontrés dans la pratique d'un art ont pour *caractéristique* d'admettre des solutions en nombre illimité, sans pour cela jamais en admettre d'arbitraires : les solutions cherchées appartiennent toujours à certains *types*, dont elles ne peuvent s'écarter trop, sous peine de devenir inopérantes et réellement fausses. Résoudre le problème, en ce cas, ne consiste pas à les énoncer toutes, ce qui est impossible, puisqu'elles sont innombrables, mais à en donner les cadres très généraux, constitués par leurs qualités communes. Il s'agit bien, comme nous l'avons dit, d'une étude spéciale de la *Qualité*.

Un exemple précisera cela. Il est un domaine important, en Art, où la notion de nombre est, de nos jours, ou méconnue, ou mal appliquée : celui des *proportions*. La plupart du temps, en effet, on s'imagine que telle proportion, en soi, est préférable à telle autre, et l'on pense qu'il existe *une* proportion, qui serait comme une clef d'harmonie. De plus, on restreint souvent cette clef à être arithmétique. Cependant, la moindre collection d'*inros* japonais (par exemple) révèle déjà l'application nuancée de dix à douze lois de proportion, tant géométriques qu'arithmétiques, et montre que ce n'est nullement le Nombre qui importe, mais la manière dont on s'en sert. Dans le même ordre d'idées, j'ai retrouvé trois grandes lois de proportion, fort usitées au Moyen Age, l'une par l'Art roman et les deux autres par l'Art gothique, toutes trois géométriques : $\frac{2}{\pi}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}$, $\frac{1}{\sqrt{3}}$ [1]. Mais ce qui est intéressant, c'est la manière *variée* dont on appliquait ces préceptes, la façon dont leur emploi influe sur le style, le fait même d'un emploi aussi large, et non du tout les trois nombres qui représentent, ou plutôt résument chacun d'eux : devant l'intérêt du Principe, celui du Nombre disparaît complètement.

A la considération de Nombre se substitue ainsi celle de *Loi*, mais de loi combien élargie, avec l'espoir de pouvoir indiquer aux artistes une base impersonnelle pour la critique, et une direction pour l'orientation de leurs efforts.

---

[1] Éd. Monod-Herzen, *Lois d'Harmonie et Tradition* (*L'Amour de l'Art*, janvier 1921). (La loi $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ne figure pas dans cet article.)

Digitized by Google

Pouvoir être utile aux artistes me paraît, je l'avoue, constituer l'une des deux grandes raisons d'être de l'Esthétique. L'autre est philosophique. Mais quel serait l'intérêt philosophique d'une Esthétique qui n'atteindrait pas l'essence même de l'activité artistique?

2° D'autre part, un malentendu profond sépare les artistes et le public. Par « public », nous entendons quiconque n'est pas artiste créateur. En nous plaçant volontairement dans le cas le plus simple, qui est la représentation d'un modèle choisi (car dans les autres cas les malentendus sont encore pires), l'immense majorité du public s'imagine plus ou moins que l'artiste se propose la reproduction littérale, et quasi intégrale, de la nature. Même lorsqu'il ne se l'avoue pas, ou n'en a pas conscience, le public prend pour norme de ses jugements l'exactitude de l'imitation et attribue à de l'ignorance, ou à de l'incapacité, ou à une fantaisie regrettable, l'écart entre l'image et le modèle.

Ce sont là, pourtant, autant de contresens et de barbarismes. Nous ne nous proposons nullement la restitution de la nature. D'abord, il nous manque la matière. Si nous l'avions, il nous manquerait les moyens, et nous ne ferions qu'une très mauvaise copie de l'œuvre du maître. Mais, même si nous avions matière et moyens, et même si nous pouvions reproduire intégralement la nature, alors nous ne ferions qu'une répétition, c'est-à-dire rien de nouveau, et nos efforts seraient totalement dépourvus d'intérêt.

Aussi bien, l'Art ne s'est-il *jamais* proposé de faire les objets tels qu'ils *sont*, mais tels que nous les *voyons*, ce qui est entièrement différent.

Il faut ajouter : et tels que nous les *sentons*, et aussi : tels que nous les *pensons*.

C'est le sens de ces deux derniers alinéas que nous voudrions préciser par ce qui suit.

61. — IMPRESSIONS VISUELLES SIMULTANÉES. IMPRESSIONS SUCCESSIVES.

On groupe, sous la dénomination générique d'impression visuelle, des impressions de deux sortes : à chaque instant, des impressions instantanées, *simultanées*, dues à la totalité du champ visuel; et, aux instants successifs, des impressions *successives*, dues à la *fovea*

Digitized by Google

centrale et aux mouvements des yeux, accompagnés ou non de mouvements de la tête ou du corps.

Ainsi, un objet donne une impression d'ensemble, résultant de la vision simultanée de tous ses points, et donne des impressions de détail, lorsque le regard en suit les contours.

Ces deux groupes d'éléments sont *toujours* présents et associés, et toute analyse doit tenir compte des *deux*.

En Art plastique, les questions de *proportion*, pour des objets ne sortant pas du champ visuel, et celles de *déformation* liée à la vision, dépendent plus particulièrement des impressions instantanées ou simultanées; tandis que les impressions visuelles successives sont en relation particulièrement étroite avec nos *motricités*. A vrai dire, les deux groupes d'impressions visuelles sont liées à nos motricités, et l'œuvre d'art, qui est un geste enregistré, résulte des deux. Mais dans les impressions successives, le mouvement des yeux est le facteur prépondérant, tandis qu'il manque à la vision d'ensemble. Ceci se précisera avec les paragraphes 61 et 62.

Remarque.

En Musique, les combinaisons successive et simultanée des notes ont reçu les noms respectifs de *mélodie* et d'*harmonie*. En Art plastique, il n'y a pas de nom spécial pour les combinaisons successive et simultanée des formes, parce que la durée des impressions visuelles n'est pas déterminée comme celle des notes de musique, et qu'il est difficile d'avoir les combinaisons de l'un des groupes, à l'exclusion de l'autre. A certains points de vue, la question est cependant résolue par la danse, et surtout par le patinage, qui, bien compris, présente des données de cet ordre, d'une haute valeur esthétique. Dans un domaine connexe, la *Géométrie rythmique* de M. Jean d'Udine permet d'obtenir toutes les transitions qui vont des impressions visuelles ordinaires aux impressions exclusivement successives. A cet égard, l'auteur a le très grand mérite d'avoir proposé un nouveau champ à l'activité artistique, d'avoir, en somme, créé un nouvel art [1].

---

[1] *Cf.* Jean D'UDINE, *Traité complet de Géométrie rythmique* (Paris, Heugel, Au Ménestrel, 1926).

Digitized by Google

62. — VISION ET DÉFORMATION.

Peu de personnes se doutent que *jamais* une forme n'est vue telle qu'elle est.

Prenons les cas les plus élémentaires. Qui dirait que les deux segments, vertical et horizontal, de la figure 177 sont égaux ?

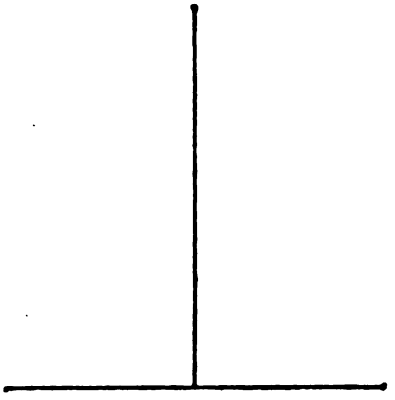


Fig. 177.

Même isolé, un segment rectiligne ne paraît pas avoir toujours la même longueur. Celle-ci paraît varier, suivant que le segment est horizontal, vertical ou oblique, et elle prend donc une infinité de valeurs différentes. En particulier, un segment vertical paraît toujours plus grand que le segment horizontal égal.

Des constatations non moins curieuses peuvent être faites avec les angles. Un même angle, invariable, ne paraîtra plus tel si les côtés qui le comprennent sont égaux ou inégaux, grands ou petits, et suivant leur position dans le plan.

Ces dernières variations se combinent aux précédentes, sans préjudice d'autres qui peuvent survenir. Ainsi, un carré rigoureux n'est pas vu tel. Il paraît plus haut que large, et ses sommets semblent très légèrement effilés. Cette modification n'est même pas identique pour chacun d'eux. La figure 178 la montre en l'exagérant beaucoup.

Il est facile de multiplier à l'infini ces observations. Certaines d'entre elles (toujours les mêmes, ou à peu près) sont réunies dans

Digitized by Google

les Traités de Physiologie sous la dénomination très impropre d'illusions d'optique. Très impropre, parce qu'il ne s'agit, en effet, nullement de cas d'exception, mais d'exemples d'une propriété caractéristique, essentielle, de la vision *normale* des Formes. Et cette

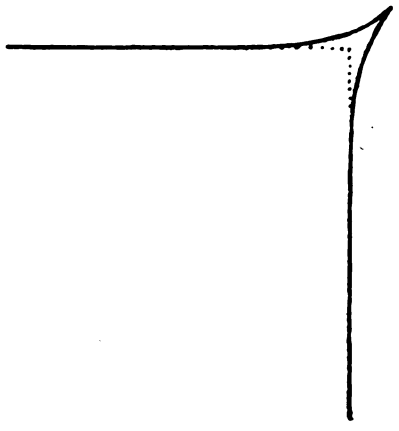


Fig. 178.

propriété n'est même pas exclusive à la sensibilité visuelle, car on la retrouve dans toutes nos autres sensibilités, qui « changent incessamment de réseau », comme il a été remarqué plus haut (1). Ce fait entraîne une conséquence importante, et nous y reviendrons dans un moment.

Toutes ces déformations (ce terme est pris, comme toujours, dans le sens neutre et littéral de changement de forme) sont le propre de la vision d'ensemble, instantanée ou simultanée. Mais elles dépendent encore d'une question d'échelle, c'est-à-dire acquièrent des valeurs plus ou moins grandes suivant que la forme considérée est assez petite pour pouvoir être embrassée d'un seul coup d'œil, ou bien demande, pour l'être, des mouvements oculaires, ou, plus encore, des mouvements de la tête.

---

(1) *Cf.* t. I, fin du Chapitre II, § 34, *Remarque II*, t. I, p. 142. Il n'y a d'exception que pour les données de l'acuité visuelle. C'est pourquoi nos instruments de mesure nous ramènent toujours, en dernière étape, à l'examen de la coïncidence de deux traits. Voilà donc à quoi se réduit l'*objectif* psychologique. Quant au *subjectif*, il est constitué par toutes nos autres sensations.

Digitized by Google

Signalons, en passant, qu'en vertu de tout ceci un agrandissement ou une réduction, même rigoureusement fidèles (homothétiques) d'un modèle donné, provoquent très vite, pour le regard, de véritables altérations morphologiques. En ce qui me concerne, elles apparaissent dès qu'on dépasse un agrandissement de 4 à 8^{cm}, ou une réduction de 8 à 4^{cm}, par exemple. Les opérations de ce genre ne pourront donc jamais donner à quiconque l'impression que produisait le modèle, et ne pourront donc jamais, indépendamment d'autres considérations, en constituer la représentation artistique : les déconvenues, trop fréquentes, des architectes qui font agrandir une maquette, ou des médailleurs qui font réduire la leur, n'ont pas d'autre raison d'être.

On a remarqué la restriction : « En ce qui me concerne ». En effet, *tous les yeux* déforment, mais l'*amplitude* de la déformation varie avec chacun d'eux, et constitue, pour un individu donné, un *coefficient spécifique*, c'est-à-dire particulier à lui et à lui seul.

Or, il est extrêmement intéressant de constater que ce *coefficient individuel de déformation* varie déjà beaucoup d'un artiste à l'autre, par exemple suivant que l'artiste est plus particulièrement sensible à la forme d'abord, ou d'abord à la couleur.

Mais si, ensuite, on compare les artistes, créateurs originaux, aux demi-artistes qui ne peuvent qu'imiter ou reproduire les œuvres d'autrui, puis à ceux qui ne pratiquent aucun art, les différences s'accusent d'une manière frappante, et deviennent considérables : maxima pour les créateurs originaux, l'*amplitude* de la déformation décline rapidement, suivant différentes catégories de public, et tend vers une valeur minime. Elle est un indice, une caractéristique de la sensibilité à la forme.

Il résulte de là que si *tous* les yeux déforment, ceux des artistes déforment *plus que tous les autres* : leur sensibilité est fondamentalement différente de celle du public, et explique les malentendus.

Le constater est donc exact, mais reprocher aux artistes le degré élevé de leur sensibilité revient tout net à leur reprocher d'être artistes.

On notera également, une fois de plus, que l'on retrouve ici, comme à chaque étape de ce travail, deux éléments ou groupes d'éléments principaux : des éléments réactionnels communs (la déformation), liés aux actions du dehors, et des éléments réactionnels

Digitized by Google

particuliers, liés à la nature particulière de la matière en cause (le coefficient individuel de déformation). Les dessins d'artistes sont les diagrammes de cette rencontre spéciale du Milieu et de la Matière vivante.

Ce n'est d'ailleurs pas tout. Ce phénomène individuel de déformation est un phénomène brut, ou, si l'on veut, neutre, fonctionnel, physiologique et normal, c'est-à-dire présenté à des degrés divers par tout le monde. Or, comme tout phénomène vital, il sera directement affecté par toutes les variations de notre vie émotive et mentale. Le phénomène premier, élémentaire, pourra donc être modifié, accentué, par nos émotions, par nos pensées, à notre insu. Et ceci, encore, sera d'autant plus intense que nous serons esthétiquement plus sensibles.

Enfin, si ce phénomène s'extériorise en un acte, en un geste, enregistré ou non, ce résultat *exprimera*, pour l'individu, à côté de son coefficient de vision, son émotivité, sa mentalité, son « tempérament artistique » : il sera *expressif*.

De plus, tout ceci concerne un état d'euphorie moyen. Tout état de dépression ou d'excitation y a sa répercussion immédiate.

Quatre exemples, très nets, illustrent bien ces indications.

Exemple I.

Le premier exemple est constitué par la figure 179, qui reproduit quatre dessins de montagne, simples notations au trait, extraites d'un carnet de poche.

Aucun de ces dessins n'est une *œuvre* : chacun sait la distance qui sépare une œuvre d'une simple *note*.

Cette montagne (l'aiguille Doran, en Savoie) avait attiré mon attention, et par l'élégance de ses lignes, et par ce qu'on racontait de son escalade : d'où de nombreux croquis.

Très vite, j'ai été frappé de la différence de ces croquis.

Alors, je me suis appliqué à en dessiner un, le plus *sincèrement* possible. C'est le nº 2. Il faisait un beau temps calme. Le carnet de notes porte la mention : « Impression fidèlement rendue. »

Ensuite, à l'aide d'un dispositif spécial, qui rendait immobile la tête, et invariable la distance des yeux à un carreau quadrillé fixe,

Digitized by Google

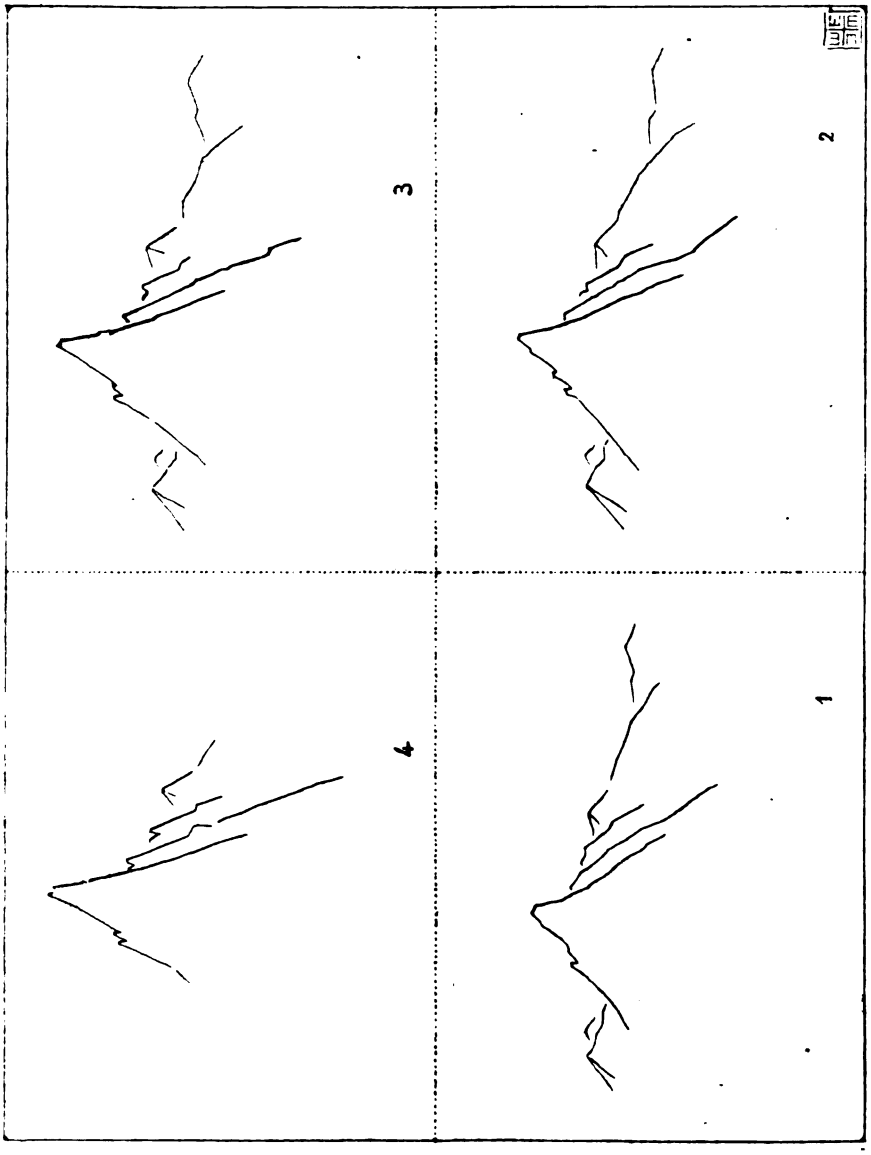


Fig. 179. — Aiguille Doran (Savoie).

Digitized by Google

j'ai fait la copie servile du modèle. C'est le n° 1. Mon carnet porte : « Avec mesures minutieuses. »

Le croquis n° 3 est antérieur, ainsi que le n° 4. Le n° 3 a été pris après une conversation où il avait été longuement question de l'escalade de la Pointe. Ceci, pour un alpiniste fervent, était un élément d'influence impulsive. Le croquis s'en est ressenti.

Le désir d'escalader s'accrut, et les croquis se multiplièrent. Il y en eut jusque sur la couverture du carnet. Tel est le n° 4.

Le modèle se composait d'un très petit sommet à gauche, tout contre Doran; puis de Doran elle-même, avec ses multiples et grandes nervures; et enfin, dans le lointain, à droite, d'un autre sommet, tout petit.

La confrontation du n° 1 avec les trois dessins libres montre que tout a subi une déformation, non consciente, bien entendu : angles aiguisés, obliques redressées, distances verticales accrues.

Mais nulle part, la déformation n'a été uniforme.

Dans le croquis n° 2, qui est le plus « sage », la déformation de Doran a entraîné légèrement celle de son voisin de gauche. Mais le petit sommet lointain, de droite, qui n'intéressait en rien le grimpeur, a été, au contraire, inconsciemment abaissé et déprimé.

Il se relève, dans le croquis n° 3, où tout est hérissé, trahissant l'état émotif de l'artiste.

Enfin, le croquis n° 4 est plus révélateur encore. Non seulement la déformation en hauteur y est maxima, mais les deux petits sommets de gauche et de droite n'ont même plus été *vus*, et Doran, seule, aiguë, jaillit.

Ainsi, à la déformation visuelle, primaire, physiologique, normale, se sont diversement surajoutées des déformations accidentelles *émotives*.

Si maintenant il s'agissait de faire une *œuvre*, bien d'autres modifications surviendraient (choix, accentuations, déplacements, etc.), dues à l'intervention d'un facteur *mental*. Et ces trois facteurs, physiologique, émotif et mental, retentissent l'un sur l'autre.

On voit combien nous sommes loin de la reproduction littérale du modèle.

On voit aussi de quoi dépend le caractère expressif du résultat, son *caractère*, tout court : à sa base est une *déformation*, ESSENTIELLE.

Digitized by Google

Exemple II.

Il faut maintenant s'assurer que cet exemple n'est pas isolé, et que le « cas » ne m'est pas exclusif. Ensuite, il faut examiner quelles variations accusera le phénomène sous des influences simplement déprimantes, ou excitantes, puis pré- ou subpathologiques, puis pathologiques.

Cet examen est indispensable, parce que la différence très grande entre les sensibilités respectives des artistes et du public rend parfois ce dernier enclin à considérer les artistes, sinon comme à la frontière entre le normal et le pathologique, du moins comme peu éloignés d'un certain manque d'équilibre. Il est donc nécessaire de voir ce que devient la vision d'un artiste en état de dépression manifeste, et, notamment, si l'amplitude de ses déformations n'en est pas accrue.

J'ai eu la chance de rencontrer, en 1923, un peintre-alpiniste, bon dans les deux domaines de l'art et de la montagne, P. Jan-Joulin, et de trouver dans ses œuvres les éléments d'une « observation » très complète et très remarquable.

Elle porte sur des esquisses de paysages, antérieures à 1923 (1919, 1920, 1921, 1912), choisies parmi celles que l'on pouvait confronter avec des photographies du modèle, prises des mêmes points de vue; en des conditions où ces dernières étaient pratiquement exemptes de déformation [1].

Je cite :

5 février 1924.

« L'étude n° 1 (Charmoz, etc.) est la première que j'aie pu faire après la guerre (1919). Je passais l'été aux Praz de Chamonix. J'étais aussi épuisé qu'on peut l'être après un surmenage de cinq années, sans repos (infirmier ayant la responsabilité des salles d'opération et de pansement d'un hôpital chirurgical, de 650 lits, pour grands blessés). Amaigrissement de 7^{kg}. Dépression physique : le trajet des Praz

---

[1] La déformation due à un objectif photographique n'est jamais *rigoureusement* nulle. Mais on peut s'arranger pour qu'elle soit indiscernable, c'est-à-dire *pratiquement* nulle.

Digitized by Google

au Glacier des Bois, sans le sac, me causait plus de fatigue qu'aujourd'hui le trajet de Bonneval au Grand Paradis, avec une charge de 15kg. Dépression nerveuse : lire était une fatigue, et parler, pire encore; la moindre émotion devenait épuisante, et la simple arrivée du courrier m'étreignait le cœur, plus qu'au temps, aboli cependant, où il risquait de m'apprendre la mort de quelque être cher. Or, le calque de cette étude, exécutée au cours de cet état, se trouve *être presque identique au calque de la photographie prise du même point de vue.* Il ne saurait, d'ailleurs, être question de proportions plus justes, dues à une science du dessin accrue par plus de pratique : il y avait cinq années que je n'avais touché un pinceau, ni dessiné une montagne (*fig.* 180).

» Le nº 2 est de l'année suivante, 1920.

» J'allais beaucoup mieux, mais pas encore bien. Le Chardonnet a déjà « repris », et les pentes de glace, tentation de ces jours d'épreuve, où j'errais au pied des demeures des Dieux, sans pouvoir leur rendre visite, *les pentes de glace se relèvent un peu* (*fig.* 181).

» L'été d'après, tout était rentré dans l'ordre. Excellent équilibre, qui permet n'importe quelle tension intellectuelle prolongée, ou n'importe quelle campagne en haute montagne, avec des charges de 10 à 15kg, sans fatigue, sans amaigrissement, etc. Francesetti, l'Albaron, sont de cette période de bonne santé. Et voyez : *jamais la déformation n'a été aussi grande* (*fig.* 182 et 183).

» Je pourrais faire des remarques analogues concernant la couleur. Pour un éclairage et des colorations comparables, les deux dernières études 3 et 4 sont passables, tandis que les deux premières sont ternes, lourdes de ton et sans soleil.

» Sans doute ceci ne vous apprend-il rien. Mais moi je m'amuse follement à l'idée que la plus grande déformation correspond à l'état d'équilibre le plus parfait, et que la vision d'un artiste ne coïncide avec celle de « tout le monde » que lorsqu'il se sent, lui, complètement abruti. »

Puis, deux autres documents viennent constituer une contre-épreuve des plus significatives :

14 février 1924.

« En fouillant dans mes placards, j'ai eu la chance de mettre la main sur deux autres pochades d'avant-guerre (1912). L'une a été

Digitized by Google

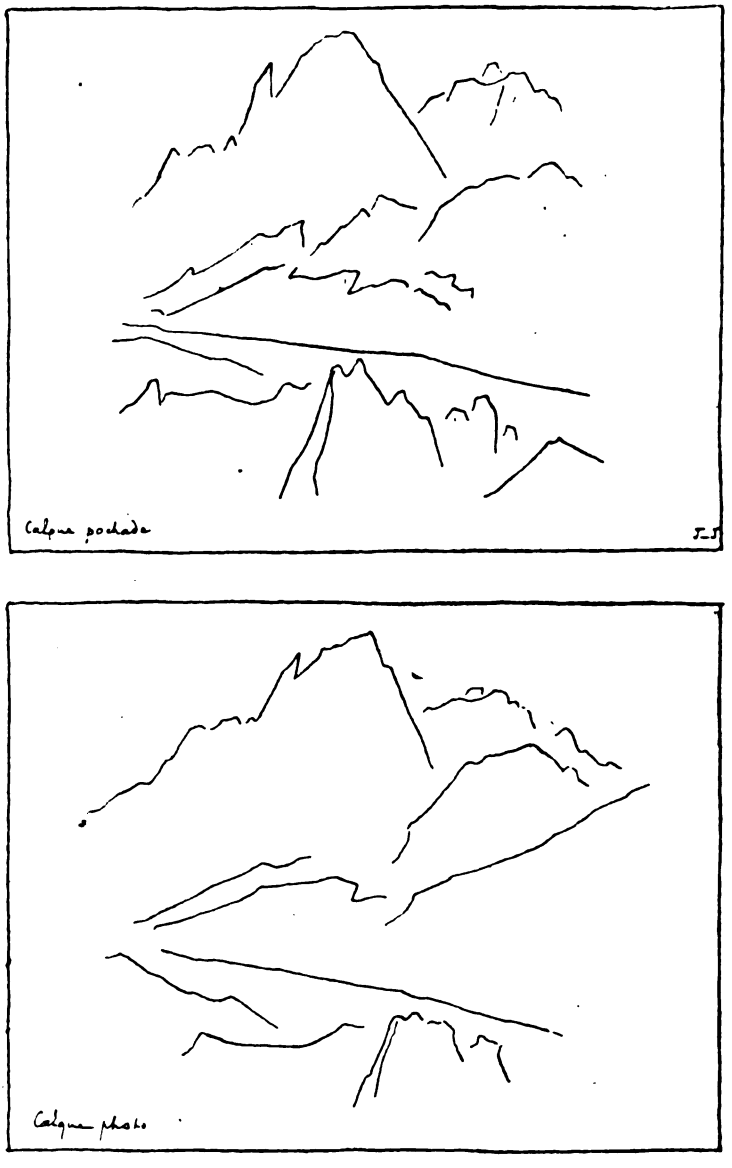


Fig. 180. — Les Grands Charmoz vus du Chapeau (Haute-Savoie).

Digitized by Google

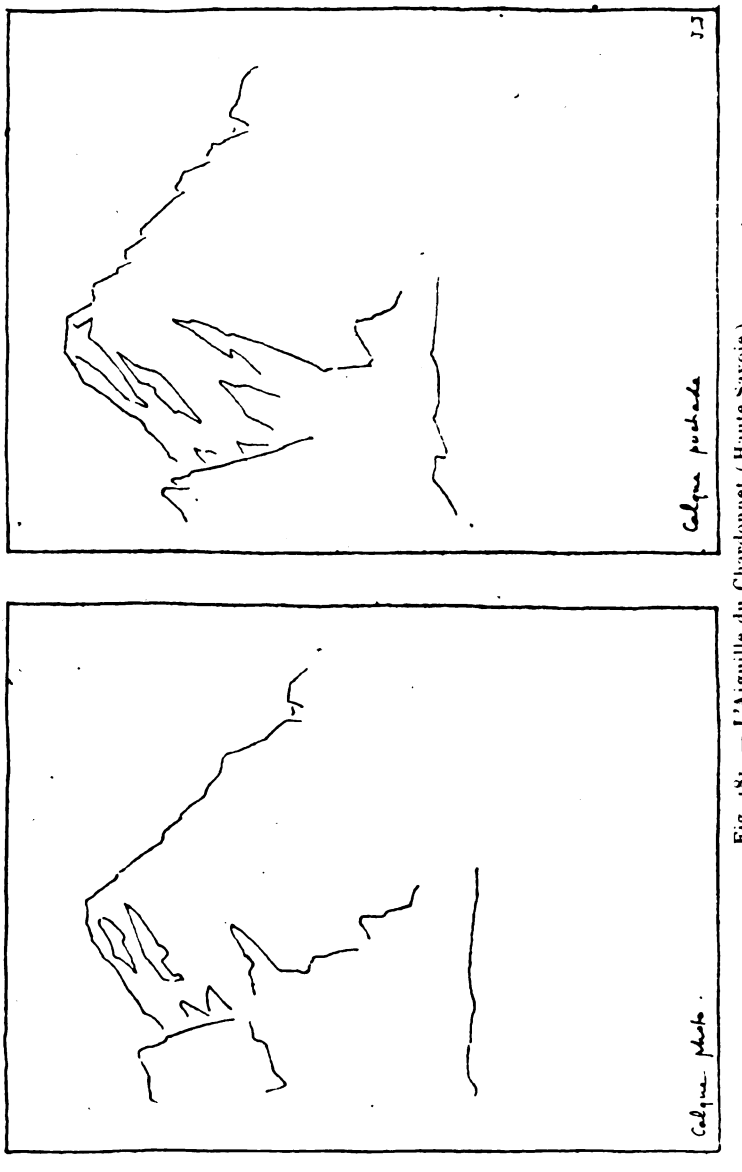


Fig. 181. — L'Aiguille du Chardonnet (Haute-Savoie).

Digitized by Google

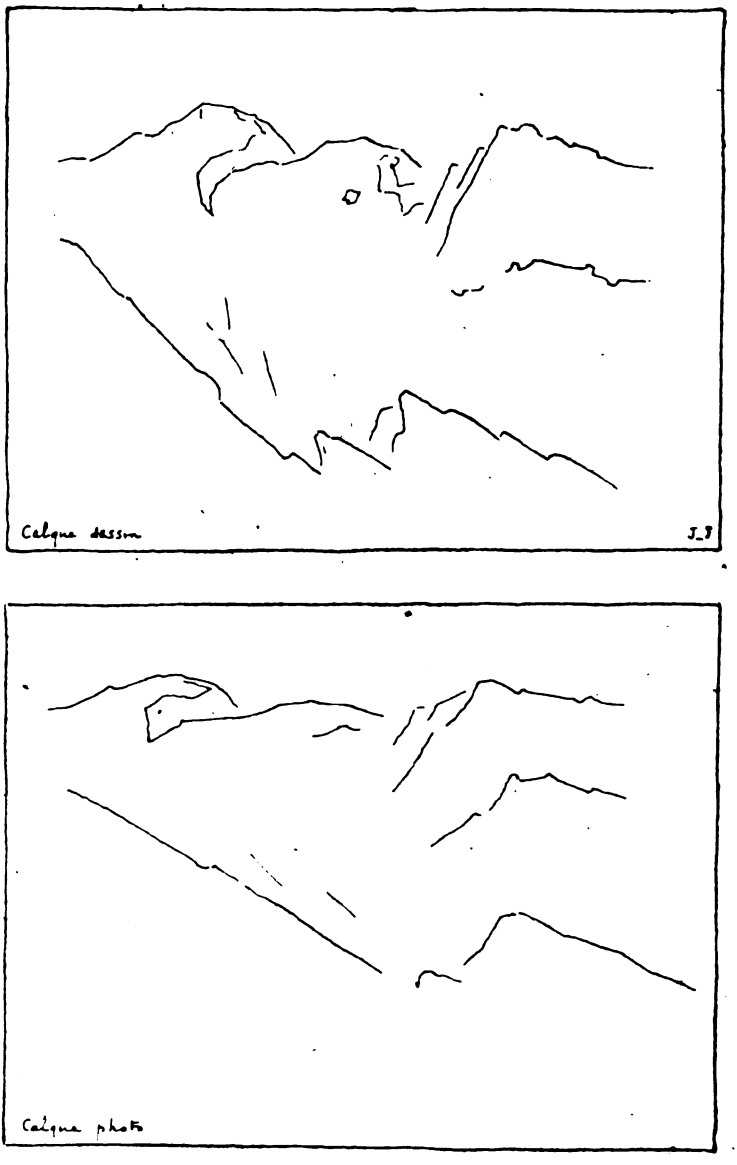


Fig. 182. — La Pointe Francesetti (Savoie).

Digitized by Google

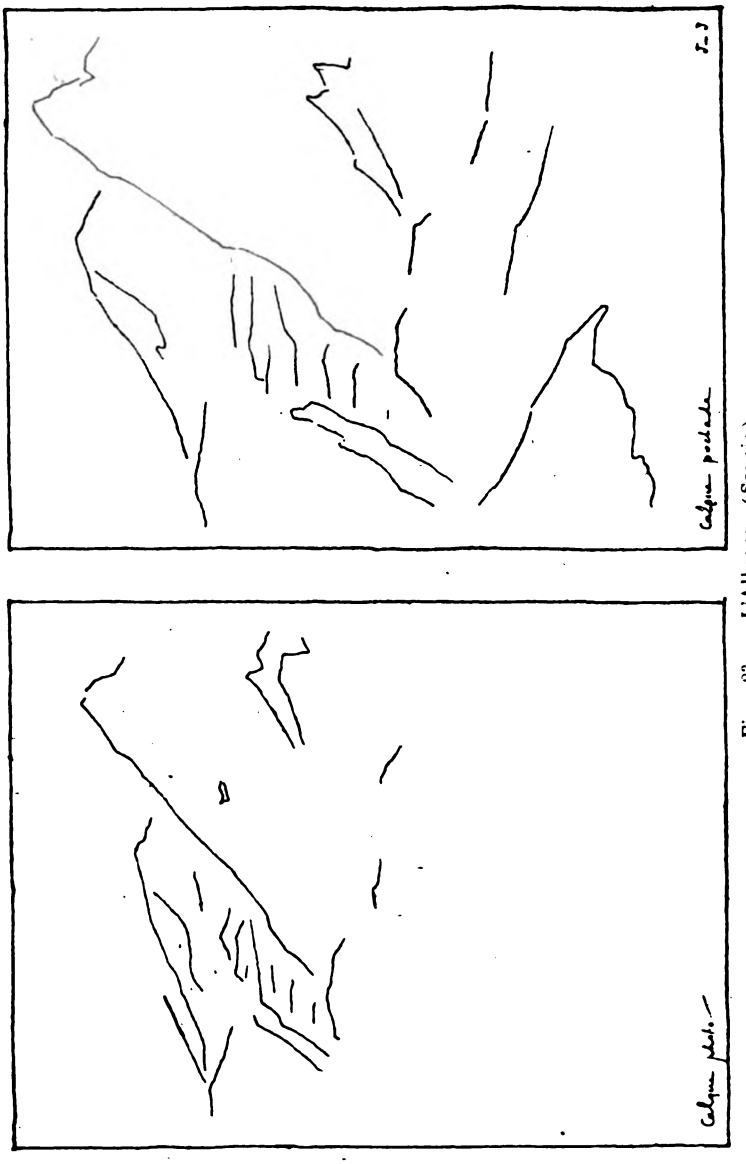


Fig. 183. — L'Albaron (Savoie).

Digitized by Google

faite dans des conditions de vent froid très éprouvant, après un travail musculaire vraiment énorme, l'autre après une nuit d'insomnie totale. Voici les détails :

» Pochade nº 5. Arête NE, et Grand Gendarme du Mu Blanc (Aravis).

» Pour atteindre cette arête qui devait, croyions-nous, permettre de gagner le sommet, nous avions pris, mon frère et moi, un long couloir de névé très dur, que la perspective faisait paraître court. Il faisait très froid. Après 200 marches taillées, la partie à gravir ne paraissait guère avoir diminué de hauteur. Plus je taillais, plus l'arête convoitée montait aussi, et plus il y avait, au-dessus de nos têtes, de couloir à escalader. Et toujours ce damné froid. Enfin, au bout de 4 heures et demie de taille (dont les deux dernières pour moi), nous touchons l'arête. Déception ! devant nous, loin, un Gendarme infranchissable, derrière lui, une brèche lisse comme verre, et le sommet au diable vauvert. Aucun espoir de pouvoir monter par là, mais un ensemble des plus curieux. J'avais tenu à monter ma boîte, car je ne doutais de rien, et je me mis à peindre. En une demi-heure je pris l'essentiel. Or, en dépit d'un vent terrible, du froid, de la déception, du surmenage musculaire, et en dépit de ce que je voyais, c'est-à-dire Gendarme plus haut que le sommet, *le sommet, source de nos désirs et de nos préoccupations, garde son importance, et domine l'importun Gendarme* (*fig.* 184).

» Nº 6. Aiguille Noire de Tardevant.

» La veille au soir, nous avions dansé tard. Puis, mon frère avait été pris d'une affreuse rage de dents, et nous nous étions promenés toute la nuit, pour la calmer. A l'aube, nous étions rentrés, et avions profité de ce que nous étions tout levés, pour faire nos sacs et partir pour la montagne. Arrivés à quelque distance du pied des Aiguilles, en même temps qu'un sommeil terrible s'emparait de moi, un très bel « effet » se préparait. Je ne pouvais pas, tout de même, ne pas le noter, et je fis l'esquisse. *Or, dessin et photographie présentent fort peu de différence.* (Si la ligne du premier plan est plus basse, dans la photo prise par mon frère, c'est parce qu'il était debout, tandis que je peignais assis par terre.) (*fig.* 185).

» Ceci se passait lors du même été 1912, en bon état général.

» Il semblerait donc que la fatigue dite « nerveuse » ait plus d'influence que la fatigue musculaire, puisque, dans le cas nº 5, il y

Digitized by Google

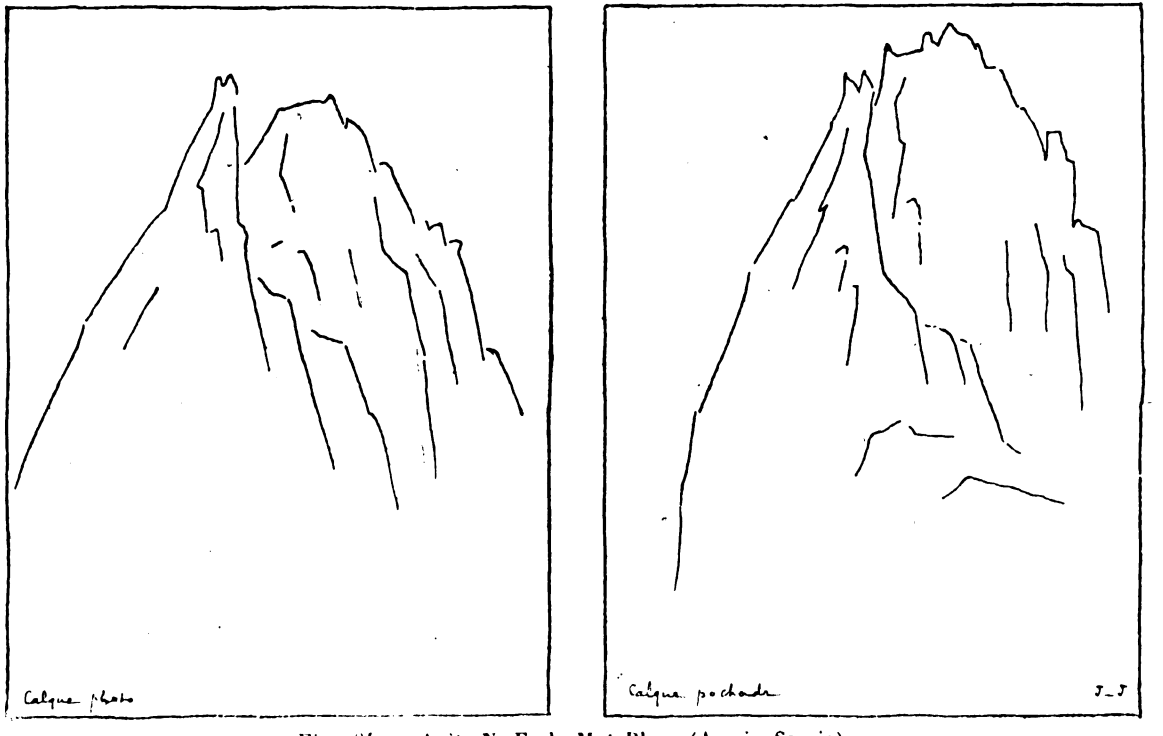


Fig. 184. — Arête N.-E. du Mut-Blanc (Aravis, Savoie).

Digitized by Google

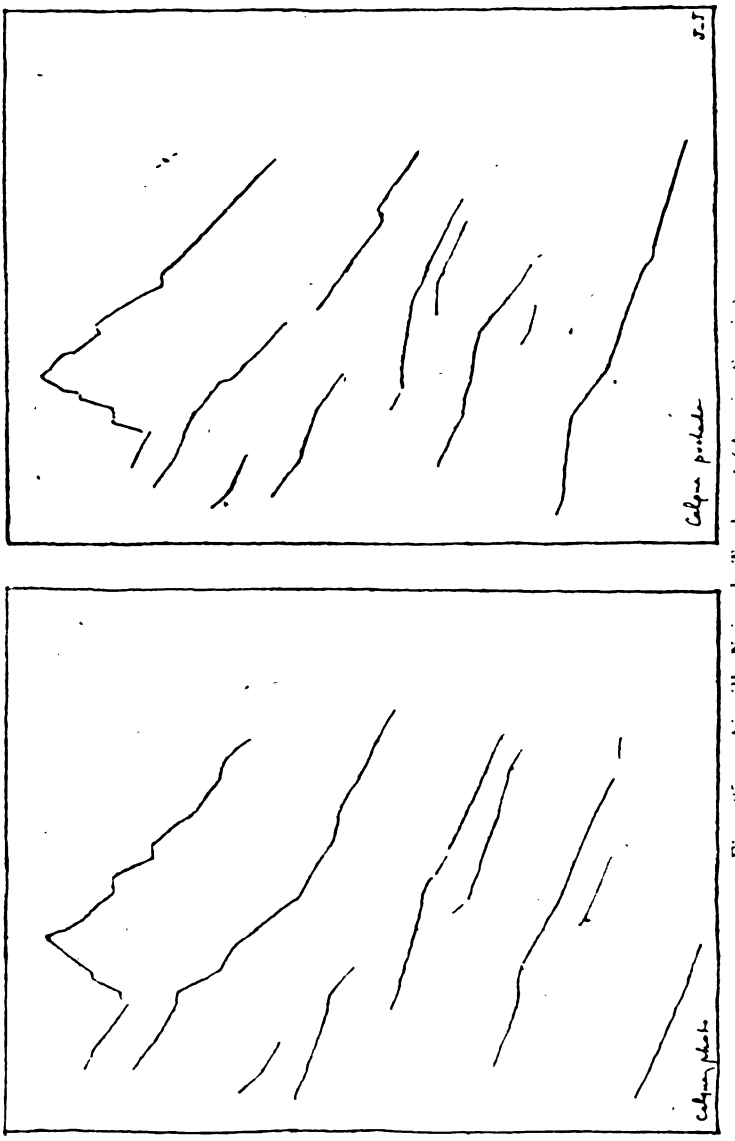


Fig. 185. — Aiguille Noire de Tardevant (Aravis, Savoie).

Digitized by Google

avait eu dépense physique considérable, tandis que dans le nº 6 il y avait seulement absence de sommeil. »

Oui, mais le vent est un stimulant énergique, et le travail musculaire aussi (1), même dur et soutenu, tant qu'il ne dépasse pas les « limites » de l'individu.

Toute l'observation de P. Jan-Joulin est excellente. Elle confirme et développe les conclusions d'avant. Elle montre le rôle dominateur des éléments d'intérêt, c'est-à-dire affectifs, qui vont jusqu'à modifier la vision, puisqu'ils font fi, *sans s'en douter*, des impressions qu'elle transmet au cerveau. On comprend maintenant pourquoi nous disions qu'un artiste ne fait *jamais* les objets tels qu'ils sont, mais tels qu'il les *voit*, tels qu'il les *sent*, et tels qu'il les *pense*, et pourquoi nous prévenions le lecteur que les facteurs visuel, affectif et mental, retentissaient les uns sur les autres. Ce point, d'*une importance capitale*, sera encore accentué par l'Exemple III.

Pour le moment, les indications précédentes peuvent se résumer ainsi :

« *Suivant les cas, certains éléments du modèle seront exagérés (déformation positive).*

» *D'autres seront amenuisés (déformation négative).*

» *Dans tous les cas, un coefficient élevé de déformation (positive ou négative) est normal chez l'artiste, c'est-à-dire fonction d'un état parfait d'équilibre. Une perturbation incidente amenant une dépression, le coefficient décline et devient minime.*

» *Il faut s'attendre (phénomène de renversement) à ce qu'une perturbation suffisamment intense provoque une exaltation du coefficient de déformation.* »

Avant d'examiner ceci, nous ferons une petite remarque.

Remarque.

Les phénomènes dont nous venons de parler sont assez généralement méconnus, pour ne pas dire ignorés.

---

(1) La grande majorité des centenaires (au moins en France) se compose de personnes ayant été musculairement très actives pendant leur vie entière.

Digitized by Google

Comment la chose est-elle possible ?

En apparence particulière, cette question touche au problème, si considérable, de l'évolution psychologique de l'Occident.

En Occident, les sciences exactes ou, plus généralement, l'intellectualisme pur, ont connu un épanouissement magnifique.

Mais celui-ci a si bien « imprégné toute l'étoffe » que les Occidentaux n'ont plus su, opération pourtant fondamentale, *situer* leur recherche dans l'ensemble des connaissances.

Non seulement ils n'ont pas compris qu'ils n'avaient là que l'une des deux ailes de l'esprit, et qu'aucune grande synthèse ne pourrait être obtenue sans l'union de la pensée pure avec l'affectivité et avec l'intuition, mais ils ont opposé la première aux deux dernières et dédaigné systématiquement celles-ci.

Dès lors, un monde, non pas seulement rationnel, mais *mensuré*, a pris, peu à peu, toute la place du monde *senti*.

Erreur énorme. Il paraît difficile d'en commettre une plus grande.

Nul doute que ce dédain, et le décrochement ou décalage hors nature qui s'ensuivit, ne soient la cause principale et profonde de la grave crise actuelle de l'Occident, tandis que l'Orient s'élève, par une conduite inverse.

En particulier, dans le domaine qui nous occupe, de cette erreur provient l'idée, si fausse, que nos organes des sens doivent être comme des instruments de mesure. De là aussi le rôle, impossible à justifier, joué par la similitude géométrique, baptisée exactitude, dans l'appréciation des œuvres d'art; et, entre les artistes et le public, tous ces désaccords, si nombreux et si fréquents, qu'il est devenu banal d'en parler.

Mais ceci n'est que la moindre partie des inconvénients liés à une telle évolution des esprits. Le gros danger est de tendre au ralentissement et à la diminution de la sensibilité.

Notre *ralentissement* est prouvé par un fait précis : il a fallu la photographie instantanée pour nous révéler la vérité des attitudes des chevaux de Phidias, des gestes de beaucoup de figures des vases étrusques, etc.

Pour se rendre compte de la *diminution* de notre sensibilité, il n'est pas besoin d'aller si loin. Il suffit d'examiner des dessins de montagne un peu anciens, et l'on est frappé de voir à quel point,

Digitized by Google

en remontant dans le passé, la spontanéité et la fraîcheur d'impression étaient plus vives.

En voici, parmi combien d'autres, deux exemples principaux, dessins de montagnes connues, confrontés avec une photographie prise du même point de vue, et pratiquement exempte de déformation.

Ces dessins ne sont nullement des œuvres sans reproche et proposées à une égale admiration. Ils sont, au contraire, d'un intérêt artistique très inégal, mais où, sous les qualités ou les défaillances d'exécution, transparaissent, avec évidence, les caractéristiques de la vision et de l'émotion qui font l'objet du paragraphe actuel. (Pour

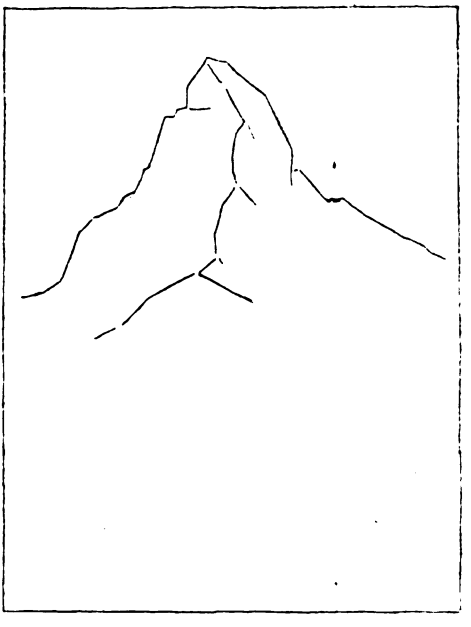


Fig. 185. — Le Cervin (calque de photographie).

la même raison, il nous suffira d'un calque du contour apparent de la montagne.)

Soit d'abord le Cervin, vu de l'Est, et photographié (*fig.* 186).

Un premier dessin, de Ruskin (1), ne figure pas ici : il est si proche

(1) 1849.

Digitized by Google

de la photographie qu'il fait presque double emploi avec elle (*fig.* 186). Ruskin faisait des daguerréotypes et prenait des mesures. Mais il n'en prenait pas toujours, et alors, bien qu'il s'en défendît, il lui arrivait de déformer, à son insu (*fig.* 187). Déformer très peu, il est vrai, mais tout de même un peu, tant il s'agit là d'une loi physiologique. Ruskin était une âme noble, mais un tempérament froid, incomplet. Il était très artiste, mais non pas « un » artiste : nuance. Il trouvait que Forbes, dans son Livre sur les Alpes, avait exagéré l'allure élancée, la « peakedness » du Mont. Ce n'est pas la peakedness qu'il faut reprocher à Forbes (1), mais un dessin mou et inconsistant, dépourvu de caractère, ce qui est fort différent. Nous mettons ici, côte à côte, les deux dessins (*fig.* 187 et 188).

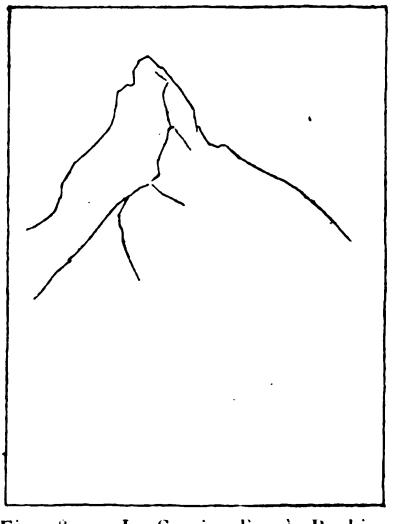


Fig. 187. — Le Cervin, d'après Ruskin.

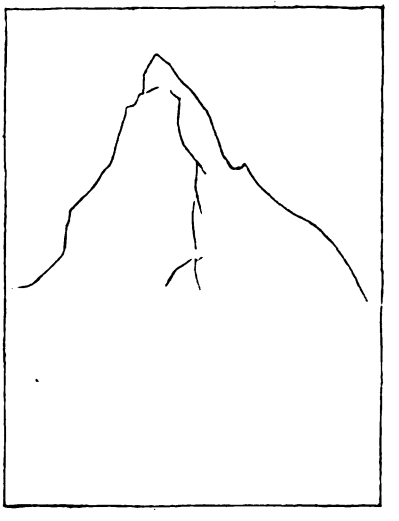


Fig. 188. — Le Cervin, d'après Forbes.

Forbes, d'ailleurs, n'était pas non plus un artiste. Deux peintres, Buhlmann (2) et Loppé (3), ont, parmi d'autres, déformé bien davantage (*fig.* 189 et 190). (L'iconographie du Cervin suffirait, à elle seule, pour notre démonstration.)

(1) 1843.
(2) 1830.
(3) Vers 1864.

Digitized by Google

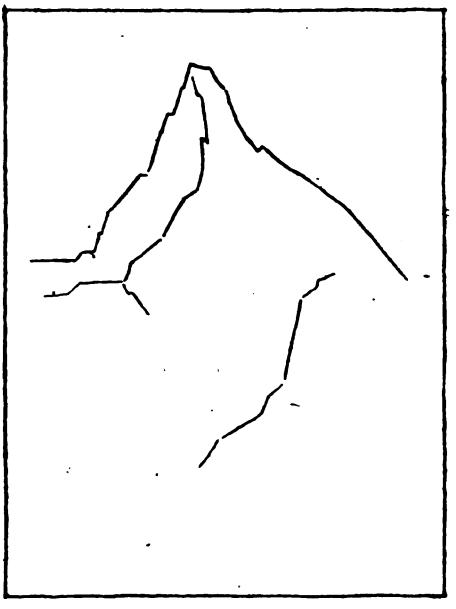


Fig. 189. — Le Cervin, d'après Buhlmann.

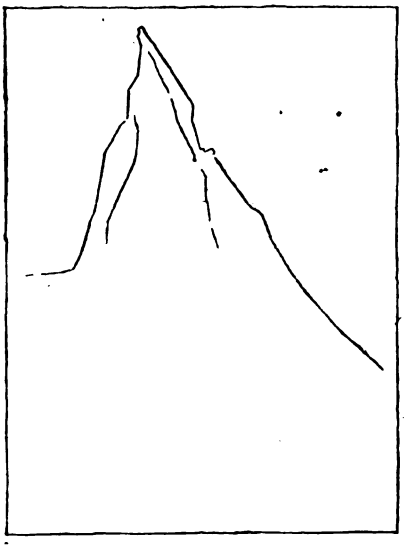


Fig. 190. — Le Cervin, d'après Loppé.

Digitized by Google

Voici le second exemple. Le Petit Dru, aux abords du Montanvers, a la silhouette suivante (*fig.* 191).

Mais ses escarpements ont si fort impressionné Naudet [1] et Lancelot [2] qu'ils lui ont donné les deux profils que voici (*fig.* 192 et 193).

De tels exemples peuvent être facilement multipliés, car ils sont

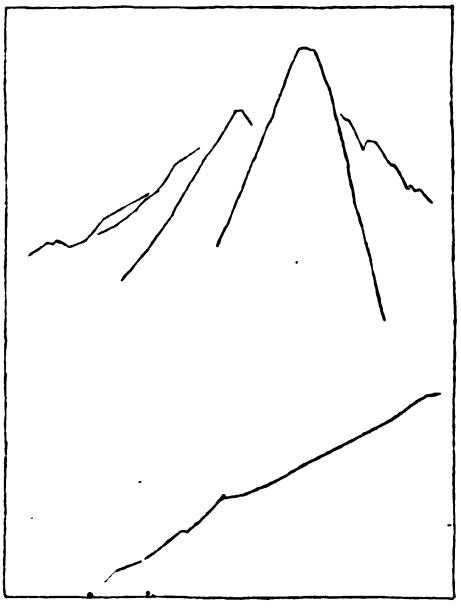


Fig. 191. — Le Petit Dru (d'après une photographie).

de tous les temps et de tous les pays. Ainsi, les estampes de Hokousaï ou de Hiroshighé, représentant divers aspects du Fuji, sont justement célèbres. Celles du premier surtout. Or, il n'en est *pas une* qui n'ait surélevé et rendu plus élancé le modèle.

Nous savons fort bien que si les œuvres de Hokousaï sont de tout premier ordre, celles de Hiroshighé ont déjà moins de caractère;

---

[1] An IV.

[2] Ill. pour les *Impressions de voyage*, par Alexandre Dumas; nouvelle édition (Paris, Calmann-Lévy, 1897).

Digitized by Google

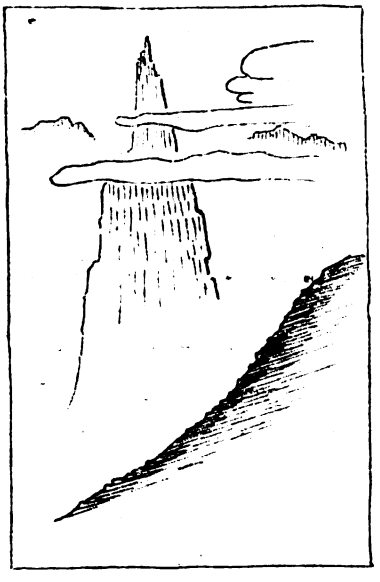


Fig. 192. — Le Petit Dru, d'après Naudet.

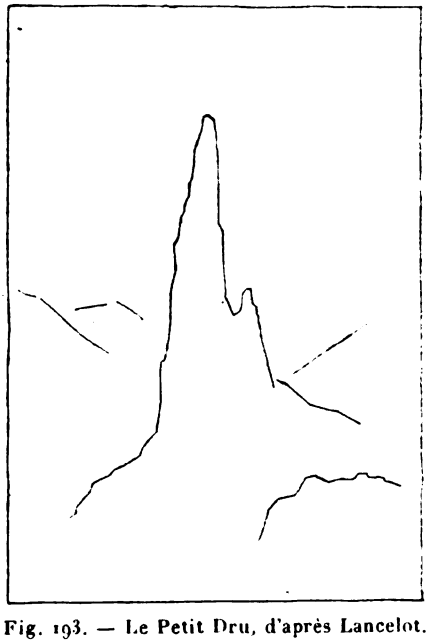


Fig. 193. — Le Petit Dru, d'après Lancelot.

Digitized by Google

que Ruskin est froid, Forbes et Buhlmann maladroits chacun dans leur genre; et que Loppé, Naudet et Lancelot ont exagéré. Mais, répétons-le à nouveau, nous ne cherchons, en ce moment, qu'à mettre en évidence un phénomène psychophysiologique fondamental.

Après, seulement, il s'agira de préciser quelles doivent en être les modalités, et en particulier quel champ peut être assigné à l'amplitude de la déformation, pour que le résultat présente une harmonie optima. Ce dernier point ne sera d'ailleurs qu'effleuré dans un exposé de principe comme celui-ci.

Exemple III.

Dans les exemples précédents, l'émotion née de la contemplation du modèle entraîne une déformation dans la représentation de ce modèle. Ce cas est le plus simple. Mais la loi est générale, c'est-à-dire qu'un état d'émotion retentit sur *toutes* nos réactions. Quel que soit le sujet choisi, sa représentation en portera donc la marque.

Une illustration des plus suggestives en est donnée par l'œuvre du peintre hongrois Gyula Zilzer, de qui nous avons déjà vu le portrait de L. Bazalgette et de lui-même (*fig.* 174, 175, 176, p. 97 et 98). Il faut s'attendre, disions-nous tout à l'heure, à ce qu'une perturbation suffisamment intense provoque une exaltation du coefficient de déformation. Non seulement Zilzer a connu les bouleversements de 1914-1918, mais il a vécu les horreurs, pires encore pour le pays qui en est le théâtre, de deux années de guerre civile, la révolte prolétarienne et la Terreur blanche. Autour de lui, près de lui, il a *vu* massacrer proches, amis, et tous autres. Il a été poursuivi. Il a dû partir. De santé parfaite, énergique, jamais abattu ni découragé, il a pu rétablir sa vie et garantir son activité artistique. Mais, pendant des années, il a gardé et il gardera, dans les oreilles et au fond des yeux, le souvenir trop présent des commotions subies.

Sans doute, après cela, n'est-on pas surpris outre mesure de lui voir donner un tel caractère à la lithographie *Révolution* (1923) (*fig.* 194), ni à son *Exécution* (1924), sur laquelle nous reviendrons un peu plus loin (*fig.* 201), ni même à son *Pêcheur éternel* (1922) (*fig.* 195).

Mais ici se place un fait bien significatif. L'artiste n'a pas trouvé que son *Pêcheur* fût assez incisif ni assez aigu. Il a remanié sa planche,

Digitized by Google

jusqu'à ce qu'elle ait pris (en 1923) l'aspect de la figure 196 : seule une déformation aussi extrême lui semblait convenir à la vivacité de sa conception.

Fig. 194. — La Révolution.

Pareille aventure survint à son propre portrait de 1922, retouché, retravaillé lui aussi, jusqu'au stade de 1923, plus satisfaisant aux yeux de son auteur (cf. *fig.* 175 et 176, p. 98). Peut-être voudrait-on voir, là encore, la marque d'un élément personnel, l'ayant directement affecté ? Mais un tel argument ne peut plus être invoqué à l'égard des deux œuvres suivantes, où, après s'être visiblement appliqué à peindre un portrait aussi « sage » que possible (*fig.* 197),

Digitized by Google

Zilzer n'a jamais pu s'en contenter, et, pour lui, s'en est refait un second, « à son idée » (*fig.* 198).

Puis, comme à l'habitude, agit le temps. Une vie nouvelle s'orga-

Fig. 195. — Le Pêcheur éternel : 1er état.

nisa, les impressions s'estompèrent, le détente survint (1) : le charmant portrait d'une jeune Kalmouk, tout de grâce et de douceur (1925), indique une évolution à son tournant (*fig.* 199).

Une incursion dans la calme Hollande l'accentua. Depuis son retour, Zilzer ne rêve plus que d'œuvres sereines, et d'un art où

(1) Le portrait de L. Bazalgette (p. 98) est aussi de 1925

Digitized by Google

Fig. 196. — Le Pêcheur éternel : 2e état.

Fig. 197. — Premier portrait.

Fig. 198. — Second portrait.

Digitized by Google

la peinture soit subordonnée à l'architecture. Témoin cette très sommaire indication pour une fresque : *Le Drapeau des Travailleurs* (*fig.* 200).

En mettant de côté, comme toujours, ce qui est exclusivement propre à l'individu, pour ne garder que les éléments communs à

Fig. 199. — Portrait.

tous les artistes, les variations dans la « manière » de Zilzer montrent d'abord comment les actions du dehors influent sur les œuvres d'art :

Digitized by Google

par l'état d'émotion engendrée, elles les déforment toutes, aussi bien celles n'ayant aucun rapport avec cette émotion, que celles y

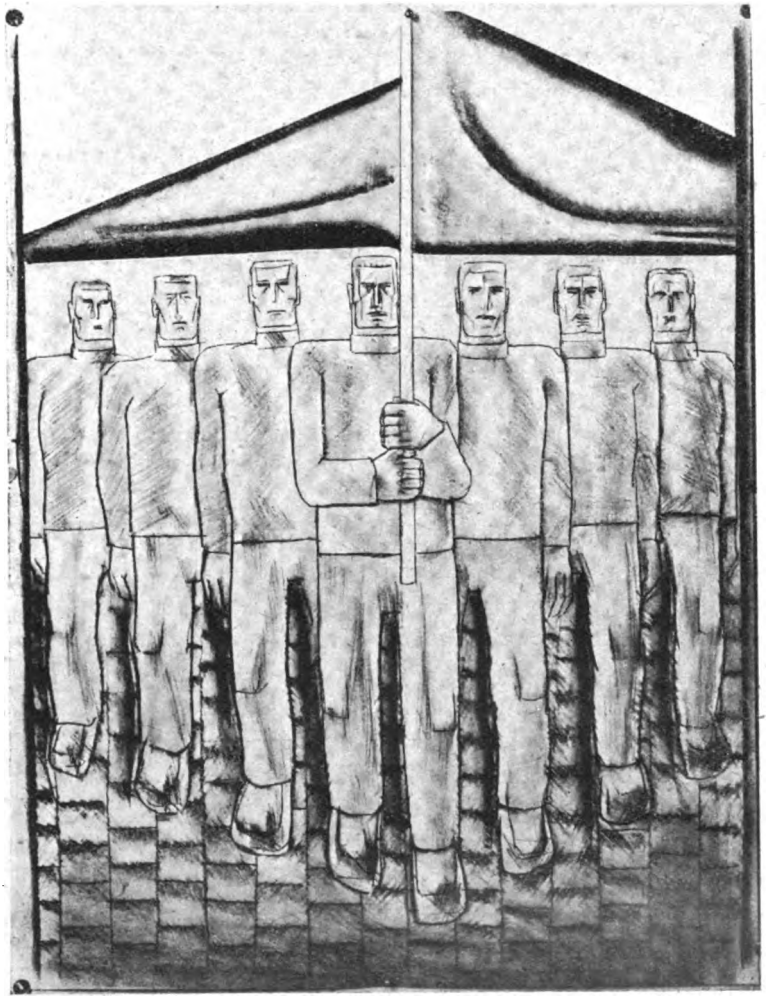


Fig. 200 — Le Drapeau des Travailleurs.

touchant. Le « sujet » ou « motif », en art, apparaît donc comme une simple cause occasionnelle, et son « genre » est, au regard d'une analyse esthétique, d'un intérêt tout à fait minime, sinon nul. Les erreurs d'appréciation, à cet égard, proviennent des cas où le

Digitized by Google

genre du sujet s'était trouvé en relation directe avec l'émotion engendrée, mais c'est là une circonstance qui n'a aucun caractère de nécessité. Il ne faut pas oublier, en effet, que chez un individu en hypertonicité (comme l'artiste), une dépense d'énergie (l'œuvre) est toujours facile à déclencher : le sujet, ou motif, n'est que l'apport accidentel qui déclenche cette réaction. Il ne faudrait d'ailleurs pas en conclure que le sujet puisse, en conséquence, être quelconque, l'artiste, en raison de la vivacité de ses réactions, éprouvant des sympathies et des antipathies aussi variées que fortes : l'Art, avant tout, résulte d'un choix, et choisir c'est préférer.

Les réactions de Zilzer sont vives : l'amplitude de ses déformations en témoigne ; et son évolution a été rapide : son « alternance » actuelle n'a duré que quatre ou cinq années. L'une et l'autre chose sont des signes d'hypertonicité.

Cette évolution présente une autre particularité remarquable. Elle reproduit, en résumé, et d'avance, toute l'évolution de l'Art contemporain : grosse perturbation, désarroi, symptômes de réorganisation, avec tendances d'abord instinctives, puis conscientes, vers un régime de stabilité relative [1]. D'*avance*, puisque Zilzer a déjà trouvé son régime de stabilité, tandis que l'Art contemporain en est encore bien loin.

En Biologie, on sait bien que le développement individuel (ontogénie) est le rappel résumé du développement de la race (phylogénie), mais l'ontogénie *suit* la phylogénie, tandis que, dans son évolution, la sensibilité affinée des artistes sincères *devance* celle de l'époque : c'est leur manière, à eux, d'être prophètes.

Sincère, ou *vrai*, en art, s'applique au libre jeu et à la libre expression des impulsions de la sensibilité, seules choses qui puissent intéresser l'Esthétique, et ne sauraient concerner ni les « habiles » ne cherchant qu'à prendre le vent, ni les faibles, toujours à la remorque de quelque chose ou de quelqu'un. Au reste, l' « habileté » est, *ipso facto*, aveu d'indigence.

Enfin, l'allure de la crise et de son dénouement indiquent chez Zilzer un tempérament sensible, certes, mais fort, qui a su assimiler les énergies du dehors, au lieu d'être assimilé par elles.

---

[1] « Relative », parce que dans un milieu vivant, donc en mouvement incessant, l'équilibre n'est jamais que relatif.

Digitized by Google

Exemple IV.

Si, au contraire, les actions du dehors avaient dépassé les « limites » de l'individu, on aurait vu survenir et s'accentuer peu à peu une exagération considérable des phénomènes de déformation, la dislocation anarchique ou désagrégation des formes d'un seul tenant, et la dissociation ou rupture de tout cet ensemble orienté qui est le propre de l'œuvre d'art. D'où, en premier lieu, l'établissement progressif d'un état heurté, confus et incohérent. Puis, sur ce chaos, se dessinent des lignes que rien ne justifie, et des enveloppes adventices qui tentent, non pas de renouer les liens naturels rompus, mais d'unir arbitrairement des formes qui n'ont entre elles aucune relation, ce qui est une autre incohérence. Cependant, ce caractère s'atténue à son tour, et fait place à une réorganisation particulière. Mais celle-ci n'est pas du tout le retour à un vrai régime stable, car elle n'est guère viable par elle-même, et ne se présente que comme une systématisation parasite, entée sur les tronçons épars des formes disloquées.

Maladie de l'activité artistique seulement, et pas d'autre chose pour le moment, parce que les éléments de cette pathogénie spéciale peuvent être des plus divers.

Les uns sont endogènes, c'est-à-dire proviennent de l'individu lui-même. Il suffit, par exemple, de visiter ceux des Asiles qui ont un petit Musée de psychiâtrie, ou de feuilleter les collections de certains psychiâtres, pour reconnaître immédiatement les traits qui viennent d'être décrits.

Mais les éléments pathogènes peuvent aussi être exogènes, c'est-à-dire venus du dehors, et provoquer une maladie de l'activité artistique, sans affecter l'intégrité physique ou mentale de l'artiste lui-même. Il suffit pour cela que ses dons de réceptivité inconsciente, ou d'influençabilité, soient grands, dominant sa personnalité et ses possibilités de création originale.

Dès lors, à son insu, il fonctionne comme un appareil transmetteur à demi passif, sismographe d'un nouveau genre, qui capte et enregistre à sa manière les perturbations du dehors, notamment les perturbations sociales, tandis que le « public » ne s'aperçoit encore de rien.

Digitized by Google

Un exemple en est familier à tous.

La guerre de 1914-1918, en cela semblable à toute autre guerre notable, n'a pas été, quoiqu'on en dise, un événement subit, déclenché *ex abrupto*, mais l'aboutissement d'un très long état de perturbation croissante. La majorité des individus ne percevait rien; quelques-uns avaient l'impression d'un malaise confus qu'ils n'extériorisaient pas; et d'autres l'extériorisaient, mais sans se rendre compte (ni eux, ni leurs satellites) qu'ils étaient manœuvrés par des actions vastes et profondes, dont l'ampleur dépassait de beaucoup leur « échelle » personnelle. D'où, entre parenthèses, de la part des principaux intéressés, des tentatives d'explication, nombreuses, sincères, mais ni satisfaisantes prises séparément, ni compatibles une fois confrontées. Dans le domaine qui nous occupe, ainsi virent le jour, par certains artistes, des œuvres assez déconcertantes, car elles présentaient des stigmates de maladie, alors que leurs auteurs n'en accusaient peut-être aucune. On a deviné à quoi nous faisons allusion : les marques d'exagération, de heurt, de confusion, de dislocation, d'incohérence, les présences arbitraires adventices et les systématisations parasites, sont exactement les caractères du « cubisme ». Il s'agit, bien entendu, des cubistes vrais, sincères, du début, et non des innombrables « à la manière de... » venus ensuite (1). Il faut ajouter aussi que, dans les Asiles, on trouve tout le cubisme, *en mieux* (2), parce que chez leurs malades la systématisation a envahi et parasité leur personnalité au point de n'en plus guère laisser subsister que des parcelles émiettées, tandis que chez les cubistes il s'est agi d'un incident localisé, qui entache peu leur intégrité psychophysiologique.

Au moment de la guerre, le cubisme était déjà dans son déclin,

---

(1) Sans même qu'il soit besoin de parler des facteurs d'étiologie du cubisme : l'influence, sur des tempéraments un peu faibles, de l'art des sauvages, des productions des demi-aliénés, et les mystifications dues à certains fantaisistes non ennemis des excitations de l'alcool; etc. (*cf.* parmi d'autres, sur le dernier point : F. Carco, *De Montmartre au Quartier Latin*. Paris, Michel, 1927).

(2) On y remarque même cette circonstance significative que les œuvres des patients sont d'un cubisme d'autant plus accentué que leur maladie progresse davantage, de sorte que le caractère cubiste ne peut être attribué à une rémission temporaire de leur mal.

Digitized by Google

et depuis, malgré quelques tentatives pour le ranimer, il agonise. Aujourd'hui, il ne compte plus que quelques attardés.

Un double mouvement a pris sa place, que l'évolution d'un Zilzer résume et condense.

D'abord, un *autre* désarroi, dû au traumatisme immédiat de la guerre, et qui prend forcément du temps pour s'amortir. La production artistique des différents pays d'Europe, de 1919 à 1927, montre avec évidence que ce désarroi est fonction des épreuves subies, et révèle même quels peuples ont subi guerre et révolution, ou guerre sans révolution; guerre avec ruine profonde, ou avec ruine moins profonde; quels peuples ont pris part à la guerre tout entiers, ou en moindre partie seulement; quels autres en ont ressenti les contre-coups indirects, mais intenses, ou des contre-coups atténués; etc.

On a dit que le cubisme avait préparé ce mouvement (1). Pourquoi ne pas soutenir aussi que pour se bien porter, il faut commencer par être malade ? L'allégation est d'autant plus erronée que le cubisme s'éteint, sans laisser aucune œuvre noble et grande, ni rien de ce qui constitue une « belle époque ». Il est exact qu'à un épisode de déséquilibre va succéder une période d'équilibre. Mais jamais un fait de séquence n'a suffi, sans autre argument, pour établir un lien de causalité, et, de plus, une constatation aussi abrégée passe sous silence des chevauchements dont l'importance n'est nullement négligeable. La vérité est que depuis plus de trente ans, bien avant le cubisme, les tendances de l'art moderne se laissaient fort bien discerner. Les étapes successives de son évolution (art figuré « naturaliste », art figuré moins « nature », art ornemental figuré, art ornemental abstrait) annonçaient, sans aucun doute possible, un renouveau de l'architecture, pas encore atteint aujourd'hui, mais dont les prodromes se multiplient (2). Cette évolution était

---

(1) On a dit beaucoup d'autres choses encore, et, notamment, que le cubisme se réclamait de la Géométrie! Cette affirmation prouve simplement que ceux qui l'ont énoncée ignorent *absolument tout* de la Géométrie. L'art des Arabes, par exemple, est géométrique, mais non pas l'assemblage, indigent et incohérent, de segments plus ou moins rectilignes.

(2) Nous disons « pas encore atteint », parce que deux ou trois beaux objets, symptômes heureux lorsqu'ils se multiplient, ne suffisent cependant pas pour constituer un renouveau de l'art décoratif, et parce qu'un ou deux beaux

Digitized by Google

lente. Le malaise d'avant-guerre, cubisme compris, la retardait encore. Mais la guerre éclate, et après l'arrêt 1914-1918 le mouvement reprend, et cette fois plus rapide. C'est à la guerre, et non à autre chose, qu'est due cette vitesse plus grande.

A cet égard, la guerre s'est comportée comme une gigantesque tétanisation physiologique : on sait que lorsque l'activité d'un tissu vivant est ralentie et diminuée, l'application d'une tétanisation physiologique peut accroître l'amplitude des réactions et en accélérer l'allure.

Enfin, toute évolution collective a ses « extrémistes ». Pour clore cette revue trop sommaire, signalons que certains esprits, dépourvus de pondération, ou simplement du sens des nuances, proposent maintenant aux artistes, comme modèles parfaits et suffisants *tels quels*, un outil, une machine, une usine, etc. Nous verrons plus loin ce qu'il y a de vrai et de faux dans une telle suggestion (1).

63. — IMPRESSIONS VISUELLES SUCCESSIVES

Les phénomènes visuels de déformation intéressent d'abord la vision d'ensemble, instantanée ou simultanée, et ensuite la vision de détail et nos mouvements, lorsque l'œuvre se constitue peu à peu.

D'autres phénomènes, plus spécifiquement *successifs*, sont liés à la vision qui détaille un objet et en suit les contours, et influent eux aussi sur les mouvements d'où résultera l'œuvre.

Rappelons, une fois pour toutes, que ces phénomènes sont physiologiques et présentés par tout le monde, mais que leur amplitude et leur intensité sont maxima chez les artistes.

Si l'on observe ce qui se passe lorsqu'on examine ou que l'on contemple un objet, on constate que les regards suivent instinctivement, dans un certain sens, certaines lignes plutôt que d'autres, s'arrêtent en certains points et y reviennent, de sorte que tout se passe comme si l'objet avait, pour le regard, des éléments de préférence ou d'élection.

---

bâtiments ne suffisent pas non plus pour constituer un renouveau de l'architecture. Mais les promesses du renouveau sont manifestes.

(1) *Cf.* § 67, p. 174.

Digitized by Google

Un exemple très simple en donnera une idée. Dans les deux rectangles de la figure 201, les *diagonales* respectives sont vues, d'instinct, dans le sens $\overrightarrow{a\,A}$ et $\overrightarrow{b\,B}$. On remarquera de plus que dans le rectangle de gauche la flèche a été dessinée au-dessous de la diagonale, tandis qu'elle est au-dessus, dans le rectangle de droite. En recommençant la même figure, avec la flèche au-dessus, dans le premier rectangle, et au-dessous, dans le second, on pourra se convaincre que le résultat de ce changement n'est pas heureux.

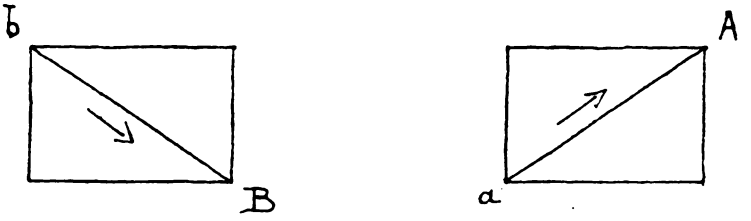


Fig. 201.

Cette dissymétrie dans la vision est évidemment liée à notre dissymétrie motrice de « droitiers ». Chez un gaucher librement développé, les réactions seraient inverses, et l'on peut, de même, trouver des rapports entre l'art d'un peuple et la manière dont il écrit : de gauche à droite, ou le contraire, ou de haut en bas.

Mais ceci n'est que l'une des modalités du lien plus général qui existe entre la vision et la plupart de nos motricités, sinon même de toutes, et dont nous avons déjà vu des exemples à propos des déformations.

La chose est de grande importance, parce que l'œuvre d'art n'est qu'un geste enregistré. Les applications de la donnée actuelle seront donc aussi nombreuses et aussi diverses que les œuvres elles-mêmes.

Nous en retiendrons une. Puisque, pour la vision, tout objet possède des éléments de préférence ou dilection instinctive, on doit pouvoir, en réalisant une œuvre, conduire où l'on voudra le regard du spectateur, attirer et retenir son attention : à côté de leurs qualités d'harmonie, on peut ainsi faire jouer aux lignes le rôle de véritables *indications*.

Les artistes connaissent bien cette circonstance, et s'en servent constamment. Aucune restriction n'est, *a priori*, imposée aux lignes indicatrices. Elles peuvent être ouvertes ou fermées, continues ou

Digitized by Google

interrompues. L'unique condition est qu'elles parlent clair. En voici trois exemples, fort différents l'un de l'autre :

EXEMPLE I. — L'esquisse suivante, de Zilzer, projet d'une « Exécution », est fort expressive (*fig.* 202).

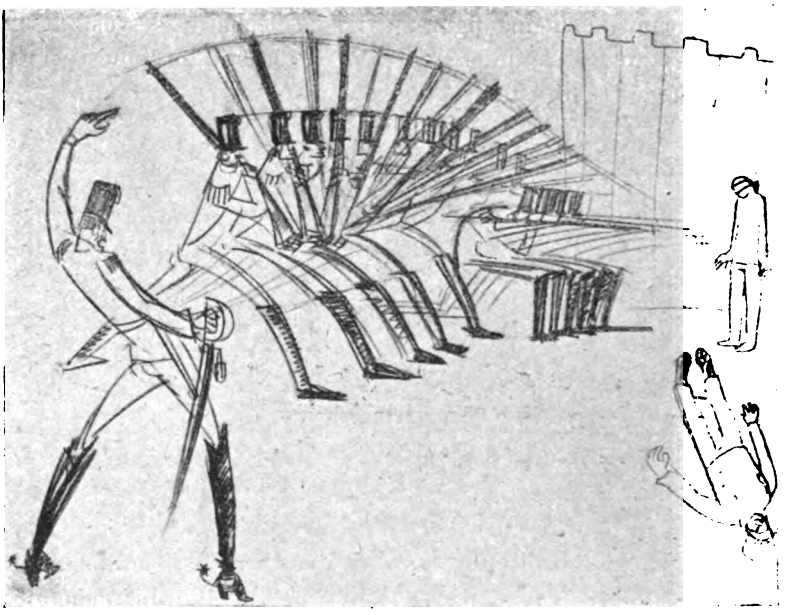


Fig. 202 — L'Exécution.

Une première ligne part de la botte droite de l'officier, monte le long du corps, se continue par le bras levé et par la main, puis s'échappe de celle-ci pour aller vers le condamné, et, chemin faisant, elle règle la position des fusils, qui viennent la ponctuer, en la touchant tout juste. Elle est encore visible sur le dessin, et montre le souci de l'artiste. Une autre ligne est ponctuée, de gauche à droite, par les shakos des soldats; une autre par les bassins successifs des hommes, et le bas des crosses; une autre encore par les genoux; et une autre enfin par les pieds. Toutes ces lignes convergent sur le condamné, y conduisent et y maintiennent l'esprit du spectateur. La malheureuse victime, petite et relativement effacée, attire ainsi l'attention, par des moyens mécaniques élémentaires.

Digitized by Google

EXEMPLE II. — On a vu que la vérité *sentie* est distante de la vérité *mensurée*, ou « zéro » de l'Art. De l'une à l'autre va toute une gamme de déformations progressives. Le degré de vraisemblance de l'œuvre d'art est évidemment en raison inverse de l'amplitude de ces déformations. Mais si le degré de vraisemblance peut intéresser certaines personnes, il ne touche guère les artistes, parce que nombreux sont les cas où une image, matériellement fausse, peut prêter à une suggestion vraie.

En voici un exemple curieux, donné par une affiche de cirque.

Une voiture, analogue à une auto, où avait pris place un voyageur, descendait le long d'une piste assez redressée. Après un ressaut, la piste était brusquement interrompue, et la voiture lancée en avant (1). Son centre de gravité, on le sait, décrit une parabole P (*fig.* 203). Mais ici des dispositions spéciales étaient prises pour qu'au voisinage du sommet de sa trajectoire, en S, la voiture fît un tour complet sur elle-même, en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, et atterrît ensuite en position normale.

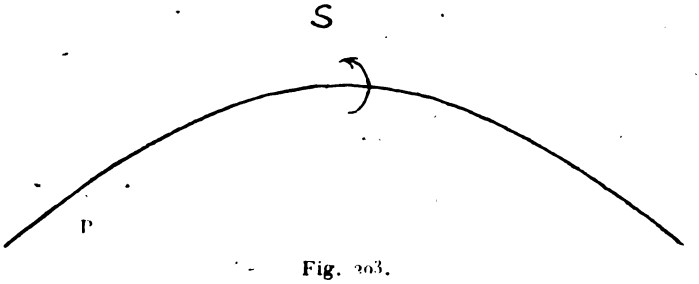


Fig. 203.

Le problème proposé était donc de représenter par une image immobile le mouvement parabolique global, agrémenté de la rotation complète de la voiture, vers S. L'artiste s'est bien gardé de rien faire de semblable au schéma précédent. Il a représenté, à gauche, la longue piste inclinée (comme dans la figure 206), et la voiture arrivant au ressaut terminal. Ce ressaut sert d'amorce à une trajectoire ponctuée, continuée par une courbe à boucle, B, en trait plein. Plus loin, à droite, est figuré le sol, avec la voiture arrivée au terme de sa course.

(1) *Cf.* trois figures plus loin (*fig.* 206)

Digitized by Google

Il n'est guère besoin d'insister sur l'impossibilité, pour la voiture, de décrire une trajectoire telle que B. L'artiste, d'ailleurs, ne s'en

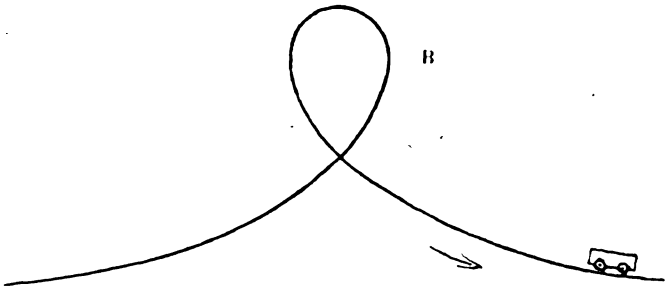


Fig. 204.

est nullement soucié. Pour se rendre compte de ce qu'il a fait, si l'on superpose P à B (*fig.* 205), on voit qu'il a conservé P comme une

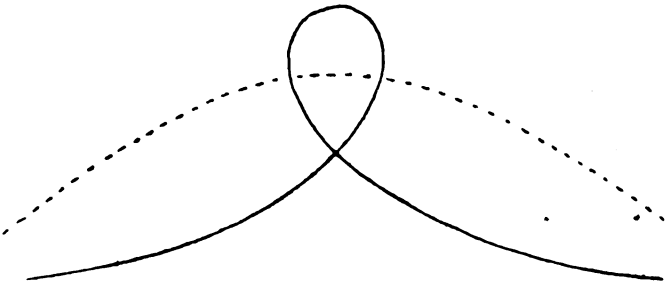


Fig. 205.

direction moyenne, non figurée, du parcours aérien de la voiture, et qu'il a dessiné une grande boucle, intentionnellement exagérée, pour évoquer l'idée de la rotation sensationnelle en S. En réalité, il a fait, comme il a pu, un compromis, composé mixte ou combinaison approchée, de deux trajectoires : la grande trajectoire du centre de la voiture, et la trajectoire particulière, autour de ce centre, de l'une des extrémités de la voiture. Puis, il a *corsé le tout, en donnant ce résultat* B *comme trajectoire à la voiture tout entière.* Abusive et fausse au regard de l'exactitude physique, cette indication n'en atteint pas moins fort bien son but et, comme telle, est parfaite, On ne pourrait lui préférer une autre image que si, en étant ***aussi***

Digitized by Google

suggestive, condition primordiale, *essentielle*, cette dernière était, en outre, plus près de l'exactitude matérielle.

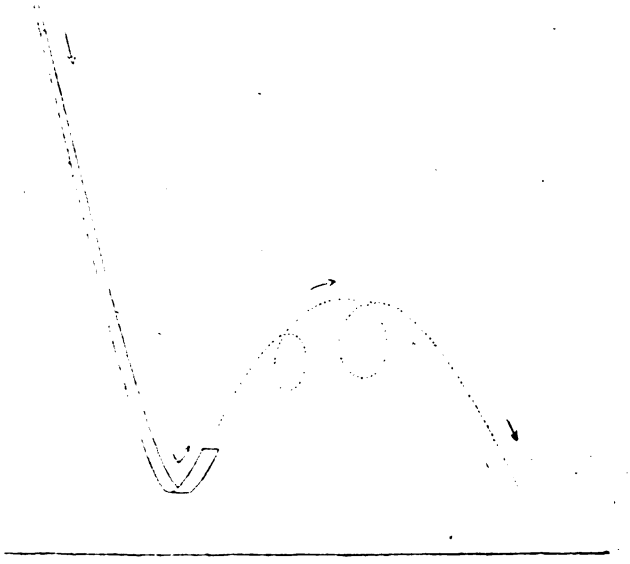


Fig. 206.

Une autre fois, il s'agissait de représenter, dans des conditions

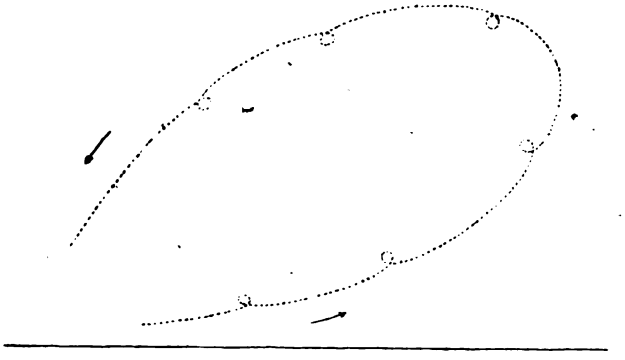


Fig. 207.

analogues, le double saut périlleux d'une voiture, ayant lieu dans le sens des aiguilles d'une montre. L'artiste s'en est tiré de la même

Digitized by Google

manière, et ici la trajectoire parabolique du centre de la voiture est plus aisément discernable que dans le cas précédent (*fig.* 206).

Enfin, une autre image évoquait le lancer d'un boomerang, l'arme, bien connue, de certains sauvages (*fig.* 207).

Dans les trois cas, deux mouvements simultanés et associés sont représentés par une seule et même ligne continue. Cette réunion, condensée, de deux choses en une, est des plus intéressantes, parce qu'elle constitue, dans un cas simple, un exemple de ce que l'on appelle la *synthèse* en art.

Exemple III. — L'estampe de Wolff-Descourtis, reproduite figure 208 (1), permet plusieurs remarques utiles, où l'on voit associées les impressions successives et les impressions instantanées.

Dans un objet, certains éléments sollicitent la vision par des qualités de forme, de « valeur » (degré de clair ou de foncé), et de couleur. Ces qualités sont suffisantes, mais non strictement nécessaires ni exclusives. A leur défaut, un élément peut encore solliciter et retenir le regard s'il éveille en nous des impressions qui nous touchent directement. C'est le cas de la figure humaine, qui intéresse notre égocentrisme instinctif, et dont il importe de savoir jouer.

Dans l'estampe de Wolff-Descourtis (2), une première région d'élection est ainsi constituée par le groupe des trois petits personnages du premier plan. Leur rôle est important, parce qu'ils donnent une indication d'échelle. Précisément, l'auteur s'est aperçu qu'ils étaient un peu grands. Sans rien changer au reste du tableau, il a remplacé ses trois figurants par trois autres plus petits, et aussitôt le lac a pris de l'étendue, et les sommets ont gagné en altitude (*fig.* 209). La comparaison entre les deux « états » de cette planche est très révélatrice.

Considérons le second « état », le meilleur. La question de dimension des personnages n'est pas la seule qui importe. Puisque leur groupe est un élément visuel d'élection, il faut qu'il soit lié aux

(1) Estampe de Collection obligeamment communiquée par M. Paul Helbronner.

(2) Wolff pinxit. Descourtis sculpsit. *Recueil des vues de la Suisse* (vers 1785).

Digitized by Google

autres éléments d'élection, pour assurer à l'œuvre une unité qui est une condition d'harmonie.

L'estampe se laisse diviser en deux parties ou « plans » principaux. Le premier est constitué par le petit lac d'Oberhorn, bordé par une ligne de gros rochers, continuée ensuite par celle d'une croupe herbeuse, d'abord montante, puis horizontale, et interrompue par le bord droit du cadre du tableau, vers le milieu de ce bord. Le second plan est constitué par les masses du Grosshorn et du Breithorn, et par le ciel. Par rapport au premier plan, s'il était seul, les personnages sont assez bien placés, tout en avant, et près d'un endroit qui sollicite la vision : les rochers et les reflets dans l'eau, situés au-dessus des lettres « HORN ET DU BREITHORN » du titre. Mais par rapport à l'ensemble du tableau, et ceci est une condition *principale*, il est facile de se convaincre que le paysage eût gagné beaucoup en grandeur si les personnages, sans quitter la rive du lac, avaient été placés ou bien tout à droite, près des trois rochers sortant de l'eau, ou bien tout à gauche, près du gros rocher. Il y a là un premier défaut de composition, qui va se préciser.

Il n'est pas le seul. Le tableau a donc déjà deux régions d'élection : les personnages et la région claire du lac. Il en a une troisième, tout à droite, vers le milieu du bord droit du cadre, formée par la portion de zone claire sur quoi se détache la petite partie horizontale de la croupe herbeuse : la double circonstance d'une note claire et d'une note horizontale sollicite et retient le regard. Le choix de cette troisième région surprend. En effet, elle ne correspond à aucun point intéressant du tableau, alors que celui-ci, le titre le dit, a, pour autres points remarquables, les deux sommets, que rien ici ne souligne. Mais, indépendamment de cette omission, il y a concurrence, ou lutte, entre les sollicitations issues de cette troisième région et de la région claire du lac; et le regard va tantôt de gauche à droite, en montant, suivant la ligne rochers → croupe herbeuse, tantôt de droite à gauche, en descendant, suivant la ligne croupe herbeuse → rochers. De ces alternances, naît une impression d'incertitude, peu agréable. L'alternance ne fait pas de doute, car en prenant la symétrique verticale de l'image, c'est-à-dire en la mettant devant une glace, à une première impression meilleure, succède de nouveau une impression de flottement, peu agréable.

On s'aperçoit alors que le premier plan est constitué par une note

Digitized by Google

Fig. 208. — Premier état d'une estampe de Wolff-Descourtis.

Digitized by Google

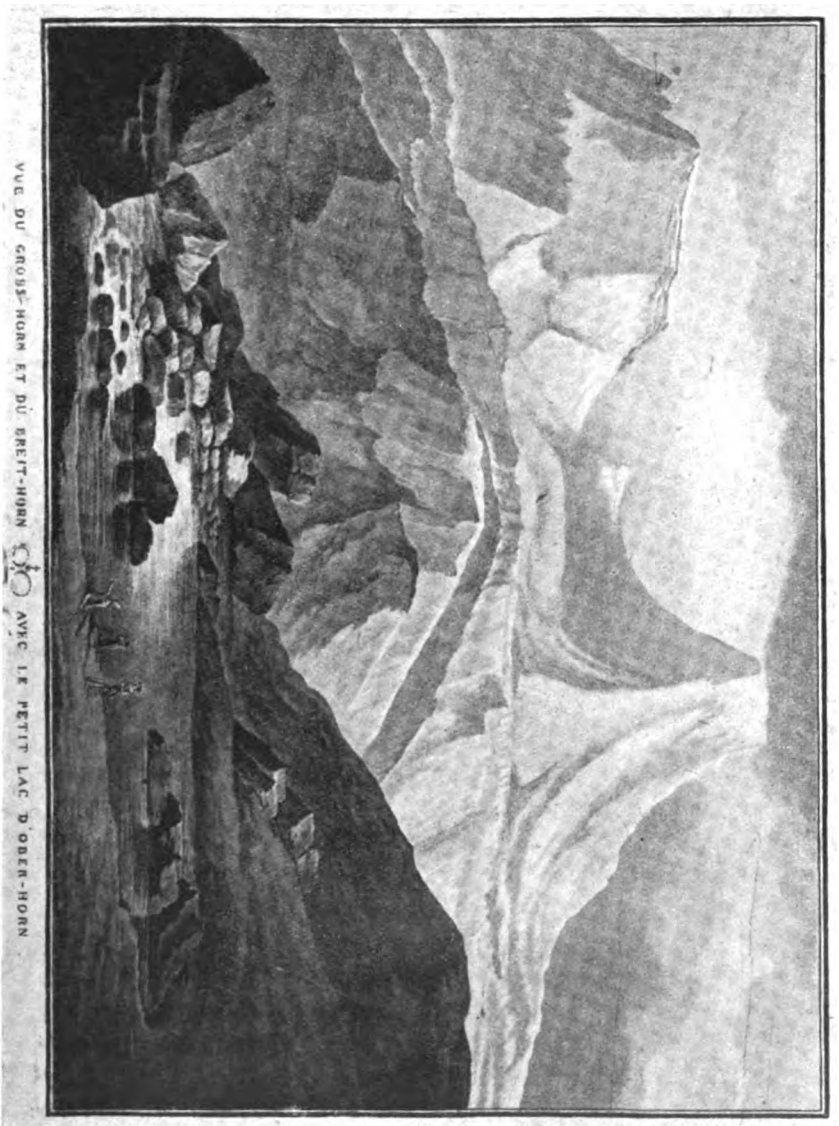


Fig. 209. — Second état de l'estampe de Wolf-Desnoyers.

Digitized by Google

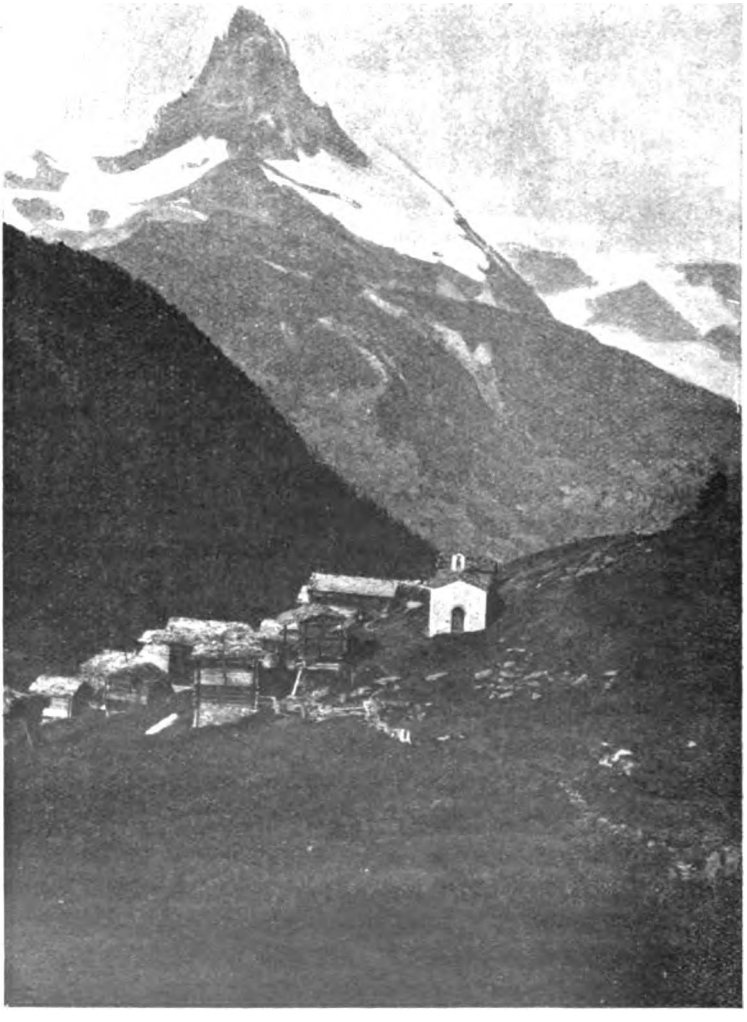


Fig. 210. — Le Cervin.

Digitized by Google

claire entre deux notes sombres, tandis que le second plan est d'une tonalité générale sombre, à gauche, qui va en s'éclaircissant progressivement vers la droite. Il n'y a donc pas accord et harmonie entre la répartition des « valeurs », et, par conséquent, pas harmonie non plus entre les deux manières dont ces deux plans sollicitent la vision : le tableau manque d'unité. Peut-être pourrait-on créer cette harmonie, ou tout au moins se rapprocher d'elle, en éclaircissant toute la partie droite du premier plan. Mais tel qu'il est là, le tableau est un mariage hybride de deux tableaux juxtaposés et non liés : le premier plan et le second. Et le meilleur remède serait probablement de les disjoindre, et de terminer séparément deux estampes.

On pourrait penser que l'examen précédent, portant sur une gravure ancienne, a rencontré quelque particularité exceptionnelle. Ce serait une erreur. Voici, en dernier exemple, une photographie du Cervin (*fig.* 210). Techniquement, elle est quelconque, médiocre. La « composition » en est bonne, et les lignes du tableau conduisent bien le regard au sommet de la montagne, qui est un lieu d'intérêt maximum. Malheureusement, rien ne le souligne, et la vision est, au contraire, distraite, et littéralement tirée en bas par le mur blanc de la chapelle. Et cette impression est si vive, qu'il suffit de cacher le mur avec le doigt, ou avec un morceau de papier gris, pour voir le Cervin gagner aussitôt en altitude.

Note.

Les deux derniers paragraphes montrent que les phénomènes dont l'œuvre d'art est le résultat sont purement physiologiques et psychophysiologiques. Ils sont même purement physiques, lorsqu'il s'agit de l'adaptation à une matière et à une nécessité de construction.

On n'insistera jamais assez sur ce côté de la question, parce qu'il est constamment méconnu.

A Chartres, par exemple, tout le monde a pu admirer, au Portail royal de la Cathédrale, les personnages très allongés et comme étirés à la filière, qui sont portés par les colonnettes ornées de la baie médiane (*fig.* 211). Tout le monde aussi a pu entendre dire, ou bien que ces personnages étaient étirés parce que les imagiers du

Digitized by Google

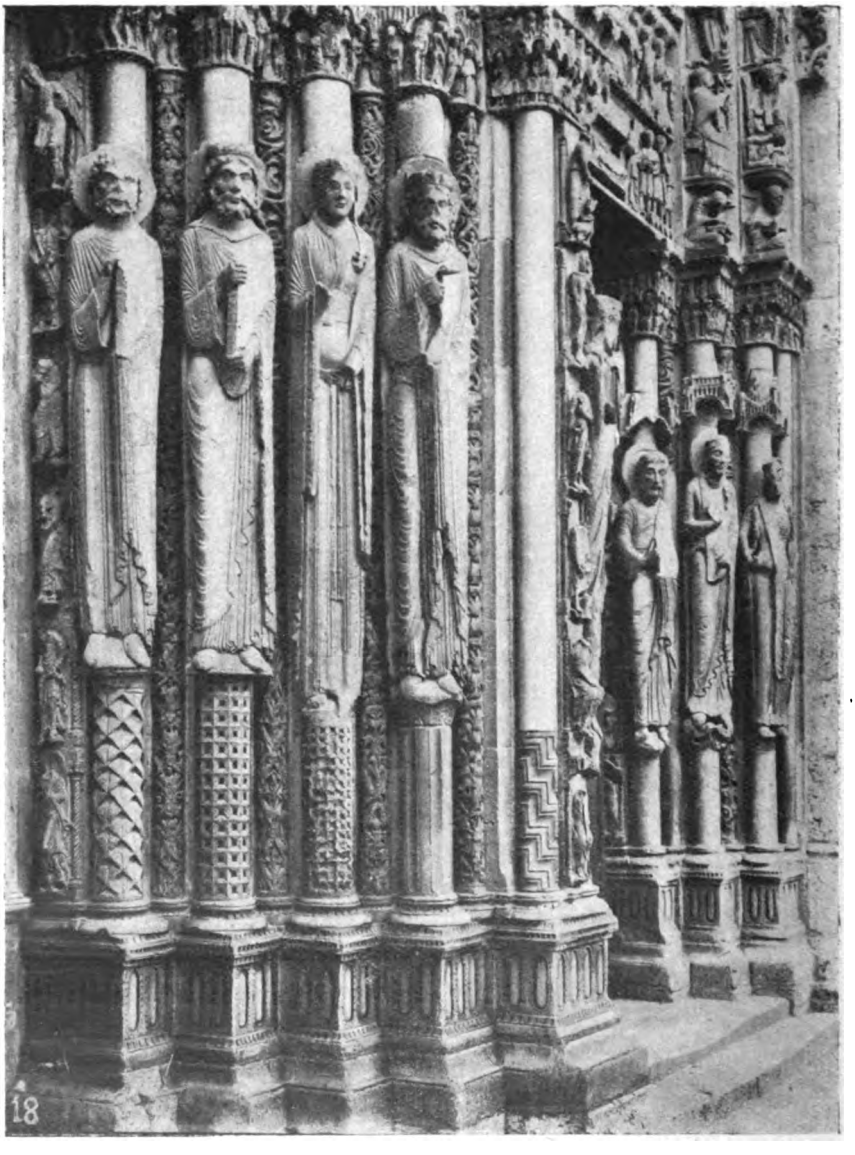


Fig. 211. — Portail royal de la Cathédrale de Chartres (Etienne Houvet, phot.) (1).

(1) Cf. *Étienne Houvet*, La Cathédrale de Chartres (A la Cathédrale, et chez l'Auteur).

Digitized by Google

XII^e siècle n'avaient pas su les tailler plus « nature », ou bien qu'ils les avaient faits tels, longs et maigres, pour évoquer l'idée d'ascétisme et de pure spiritualité. Tout ceci est de la fantaisie. Les imagiers du Moyen Age ne se sont jamais gênés pour façonner des figures très « étoffées », lorsque c'était désirable. Mais à Chartres il s'agit d'une adaptation, aussi évidente que parfaite, à l'architecture du portail. Et l'on admire sans réserve, à la fois l'audace d'une déformation aussi grande, et le très grand caractère dont, grâce à elle, les figures sont empreintes.

Dans un domaine semblable, on a noté, à Chartres, pour le critiquer, d'autres personnages, dont la tête est manifestement beaucoup plus grande que ne le comportent les dimensions du corps. Or, il s'agit simplement de figures placées haut, et dont la disproportion (déformation) ne se révèle que si on les voit de niveau.

Les exemples donnés aux deux derniers paragraphes ont été choisis parmi les plus simples qui permissent de bien mettre en évidence les phénomènes notés. Mais il serait facile de les multiplier sans fin, car il n'est pas un objet de nature et pas une œuvre d'art qui ne conduise aux mêmes remarques, tant pour la vision d'ensemble que pour la vision de détail : ces remarques sont *générales*.

64. — L'INTERPRÉTATION EN ART.

Le résumé de tout ce qui précède est le suivant :

« *Des liens réciproques unissent étroitement les impressions visuelles, les états d'émotion, l'idéation, et les motricités dont le jeu enregistré constitue l'œuvre d'art.*

» *Par rapport au modèle, dans cette œuvre, l'influence des trois premiers facteurs sur le dernier se traduit par des déformations.* »

Cet énoncé n'envisage que la forme du modèle et celle de l'œuvre, et non les rapports entre forme et matière, d'où dépend ce que l'on appelle communément l'*interprétation*, en art.

L'interprétation se laisse aisément définir. Le modèle apparaît à notre œil comme un ensemble de lignes et de contours, entourant des taches plus ou moins claires, plus ou moins foncées. Ces données

Digitized by Google

sont relatives, c'est-à-dire ne valent que par leurs rapports de situation et d'étendue. Pour les exprimer en une matière, il faut chercher, dans ce clavier heureusement très riche qu'est presque toujours la matière, quelles sont celles de ses notes qui, rapprochées, groupées, feront sur notre œil une impression du même ordre que les notes composant le modèle.

Moyennant quoi, celui-ci sera *représenté*.

Telle est l'*interprétation* [1].

Pour le modèle, le résultat le plus immédiat de son interprétation en une matière donnée est d'avoir à subir de *nouvelles déformations*. La question a été traitée par anticipation au Chapitre IV [2], dont nous rappellerons les conclusions principales :

« Les rapports généraux de la Forme et de la Matière sont aisés à retrouver en tout domaine de la Morphologie naturelle : solides, liquides, gaz, minéraux, substances organiques, matières vivantes, expansions brusques ou constructions lentes, etc. Ils conduisent à la distinction de deux éléments ou groupes d'éléments principaux d'une morphologie.

» Mais les distinctions faites ne sont pas applicables seulement aux apparences façonnées par la nature non humaine.

» L'examen d'un art, quel qu'il soit, permet de voir que le premier groupe des éléments morphologiques (forme et fonctionnement communs) correspond à ce qu'est, parmi les hommes, la *Technique*, ou recherche et moyen d'établissement de la forme générale.

» Et le second groupe (forme et fonctionnement individuels) correspond à ce qu'est, en art, l'*Interprétation*, ou recherche des accents particuliers à la matière traitée.

» Ainsi, d'une part, nous avons les « modèles physiques » de ces deux opérations, si exclusivement humaines, semblait-il, la Technique et l'Interprétation.

» D'autre part, quelque étendues et profondes que soient les modifications (déformations) dues à une interprétation, elles ne sont ni d'échelle ni d'allure différentes de celles rencontrées dans la nature, lorsque de mêmes influences agissent sur des matières diverses.

---

[1] Cette opération a pour synonymes approchés : transposition, transcription, traduction.

[2] *Cf.* le paragraphe 39 entier, et, en particulier, la note VII, t I, p. 176.

Digitized by Google

» Les rapports de la Forme et de la Matière sont donc les mêmes, que la matière soit mise en œuvre par le jeu des forces naturelles, ou mise en œuvre par l'homme. Et lorsqu'une même opération est appliquée à des matières diverses, les transcriptions résultantes obéissent à la même norme, que le facteur opérant soit la Nature ou l'Artiste. »

« Interprétation, ou recherche des accents particuliers à la matière traitée. » Cette définition abrégée (parce qu'elle sous-entend les accents particuliers du modèle) est exacte, mais incomplète. En effet, dans l'œuvre d'art sont aussi inscrits et enregistrés les accents particuliers de cette autre matière qu'est l'auteur, c'est-à-dire les accents dus aux trois facteurs visuel, émotif et mental.

La définition plus complète (1) sera donc :

« *L'Interprétation consiste à expliciter au mieux les traits caractéristiques du modèle, les propriétés caractéristiques de la matière traitée et les caractéristiques de l'auteur : vision, émotion, idéation.*

» *Par rapport au modèle, cette opération se traduit par une série de déformations* : INTERPRÉTER ET DÉFORMER SONT SYNONYMES. »

Par un phénomène réciproque bien connu, ces déformations, vues par un spectateur, seront pour lui une *indication significative*, qui déclenchera en lui, s'il est sensible, des émotions et des pensées toutes pareilles à celles de l'auteur.

Enfin, si à l'origine de toute émotion esthétique, d'où est née l'œuvre, est une impression visuelle, c'est aussi par des moyens plastiques, donc visuels, que l'œuvre, à son tour, suscitera une émotion esthétique chez le spectateur : l'œuvre d'art résulte essentiellement de la recherche et de l'exploitation de certains phénomènes visuels, ou, plus généralement, sensoriels. *Ainsi, avant toute autre chose, l'Esthétique dépend des Sciences exactes, de la Physiologie et de la Psychophysiologie.*

Note. — L'auteur, ici, est pris comme une « donnée » du problème. On peut, sans aucun inconvénient pour l'exposé actuel, négliger les influences de l'entourage, famille, peuple, race, parce qu'elles

(1) La définition *tout à fait* complète sera donnée au paragraphe suivant.

Digitized by Google

n'ajoutent que de minimes variations de détail, toutes secondaires, aux phénomènes *primordiaux* qui constituent *l'essence même* de l'activité artistique.

65. — LA NOTION D'HARMONIE.

Une interprétation est d'autant plus agréable qu'elle est plus explicite. Plus elle aura su trouver les traits caractéristiques du modèle, plus elle rendra évidentes les propriétés caractéristiques de la matière mise en œuvre, et plus elle sera conforme aux caractéristiques de la vision, de l'émotion, de l'idéation de l'auteur, plus on dira qu'elle a du *caractère*.

De plus (probablement en vertu du principe de moindre action), une *accentuation discrète* de ces données accroît beaucoup l'impression d'harmonie plastique.

Qui dit « caractéristique » dit « loi », et l'on peut exprimer ce qui précède sous la forme plus compréhensive que voici :

« *L'examen général des Formes naturelles montre que l'impression de leur harmonie est toujours liée à l'explicitation de leur loi.*

» *L'examen des relations entre la Forme et la Matière mise en œuvre montre que l'impression d'harmonie est toujours, avec la donnée précédente, liée à l'explicitation des propriétés, ou loi, de la matière choisie.*

» *L'analyse d'une Œuvre d'art montre qu'avec les deux données précédentes, les éléments de l'impression d'harmonie sont toujours liés à l'expression d'une loi psychophysiologique : vision, émotion, idéation, etc.* »

D'où l'énoncé abrégé :

L'IMPRESSION D'HARMONIE EST TOUJOURS LIÉE A L'EXPRESSION D'UNE LOI.

Cependant, pour justifier un énoncé aussi catégorique et aussi général, il faudrait être certain qu'en soi l'explicitation et la perception d'une loi sont toujours accompagnées d'une impression d'harmonie. Et notamment, en ce qui concerne notre sujet, si nous pouvions contempler des formes qui fussent l'expression d'une loi pure, c'est-à-dire de ce qui est tel pour notre esprit, indépendamment de toute

Digitized by Google

image ou signification objective, ces formes nous paraîtraient-elles harmonieuses ?

Or, la réponse est oui, car tel est le cas des Formes définies, qui, sous des réserves, évidentes, de simplicité, permettent de vérifier l'énoncé précédent d'une infinité de manières.

66. — ART ET GÉOMÉTRIE.

Nous sommes partis des Formes définies. Nous y revenons.

Si l'on évoque l'ensemble de toutes les Formes existantes, on peut les classer par ordre de complexité décroissante, depuis l'Homme jusqu'aux Formes définies ou géométriques. Celles-ci apparaissent comme l' « élément » ou « corps pur », destiné à jouer un rôle précieux en analyse morphologique. Ainsi avons-nous pu, en suivant la route inverse, rappeler qu'en Physique une telle analyse est banale, et montrer qu'en Biologie, si les progrès sont plus lents, il n'en est cependant pas de canton qui, peu à peu, ne s'en montre justiciable.

Chaque jour accroît le nombre et l'étendue des cantons explorés, qui vont jusqu'à celui des choses de l'esprit, puisque les Formes définies, étroitement liées à certains fonctionnements intellectuels, en sont comme le diagramme. Aussi avions-nous dit que ces formes sont, simplement, celles des formes naturelles que l'on sait définir. Elles sont, à la lettre, le *trait d'union* entre notre esprit et la nature. Et maintenant, en effet, l'Esthétique vient fermer le cycle.

Un nouveau Livre, ici, prend naissance. Il nous suffira d'en effleurer deux points.

1° Au début de l'exposé actuel, nous avons noté quelques-unes des formes géométriques les plus importantes. Déjà, l'on a vu alors que « la Géométrie » dépasse singulièrement les rudiments à quoi s'arrêtent les artistes. (Je ne parle ni des Anciens, ni de l'Orient.) Mais nous nous étions surtout préoccupé de montrer l'enchaînement des formes définies et leurs rapports avec celles trouvées dans la nature. Dans un souci élémentaire de cohérence, nous avons dû laisser de côté tout autre aspect de la question, et passer sous silence de nombreuses classes d'autres formes définies. C'est donc seulement d'une manière très imparfaite que ce début permet de se rendre

Digitized by Google

compte des richesses offertes à l'Art par la Géométrie. Je signale aux artistes qu'elles sont sans limite et sans prix.

2° Mais apporter de nouvelles formes et de nouveaux points de départ pour la composition n'est que l'un des deux avantages offerts à l'Art par la Géométrie. L'autre, et de beaucoup le plus précieux, parce que de conséquences plus générales et aussi plus profondes, est de jeter quelque lumière sur le mécanisme et la nature de certaines opérations liées à la pratique d'un art.

Telle est, entre bien d'autres, la *stylisation*.

Dans tous les arts plastiques, la stylisation est une opération banale, mais dont la définition exacte n'est pas donnée. On sait seulement qu'il s'agit de certaines modifications ou déformations plus ou moins régulières, ayant pour but d'harmoniser un motif donné avec certaines conditions de mise en place dans un cadre, ou de mise en place dans un ensemble.

Un cas bien connu est la stylisation dans un cercle, constamment employée par les Japonais pour le dessin de leurs armoiries ou « ***mon*** ». Or, on y retrouve souvent une transformation de figure, bien définie, dite « polaire », du type déjà entrevu plus haut [1].

Ceci fait alors penser à d'autres transformations simples, également *définies*. L'une d'elles déforme suivant le grand côté d'un rectangle, une autre suivant la diagonale d'un carré. Appliquons-les à un motif donné, par exemple à un segment de vigne-vierge (moins les dentelures des feuilles) (*fig.* 212). Il vient les trois transformées (*fig.* 213).

Ces figures rappellent de si près des « stylisations » que si on les avait présentées comme telles personne n'eût supposé autre chose.

Il suit de là que lorsque des artistes pour « harmoniser » un motif, le déforment « en rond », l'étirent « en hauteur », ou « en largeur », ou « en diagonale », ils effectuent, sans le savoir, des opérations graphiques dont le « modèle » est parfois une transformation ***définie***.

Les dernières transformations indiquées ne sont plus « polaires ». Elles n'ont pas reçu de nom spécial. Elles font partie d'une classe illimitée d'opérations, dont un cas particulier concerne tous les *arrangements périodiques* d'un motif dans un plan : en files indéfi-

---

[1] *Cf.* t. I, Chapitre I, § 11, figures 17, 18, 19 et 23.

Digitized by Google

nies ou bandes parallèles, soit verticales soit horizontales, soit diagonales, et avec ou sans alternances; en réseau à mailles rectangulaires, carrées, ou losanges; etc. : on a donc aussi le « modèle » défini des opérations habituelles à la décoration plane, et, par conséquent, un moyen d'étude précis.

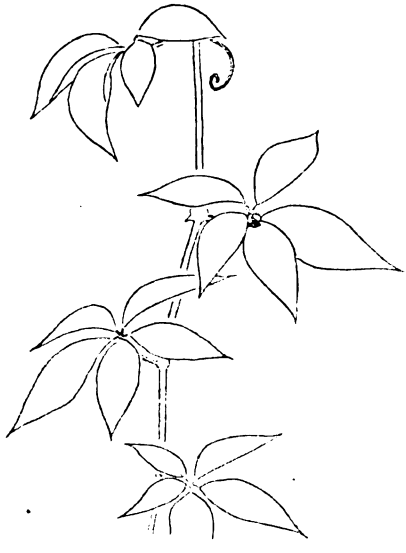


Fig. 212. — Donnée : un segment de Vigne-vierge.

Une des conséquences les plus remarquables de cette étude est la suivante:

On fait choix d'un motif, et, par la transformation définie en question, on en déduit tous les arrangements périodiques que nous venons de rappeler. Dans tous figure le motif, indéfiniment répété. Dans chacun des arrangements, considéré isolément, le motif est identique à lui-même. Mais si l'on confronte deux arrangements quelconques, on constate que, de l'un à l'autre, le motif a subi une légère modification, et qu'en aucun d'eux, non plus, il n'est resté identique au motif initial. Puis, si l'on cherche à dégager le sens de ce phénomène, on voit que le motif n'étant plus isolé, mais faisant maintenant partie d'un ensemble, a subi, chaque fois, une déformation appropriée, *qui rend à l'ensemble une « unité » que la simple juxtaposition n'eût pas assurée.*

Digitized by Google

Ce précepte fondamental d'Esthétique est l'analogue exact, *mutatis mutandis*, de ce qui se produit lorsque des êtres de nature se groupent en plus ou moins grand nombre (agrégat, colonie, tissu, etc.), et que le groupement résultant acquiert une certaine individualité [1].

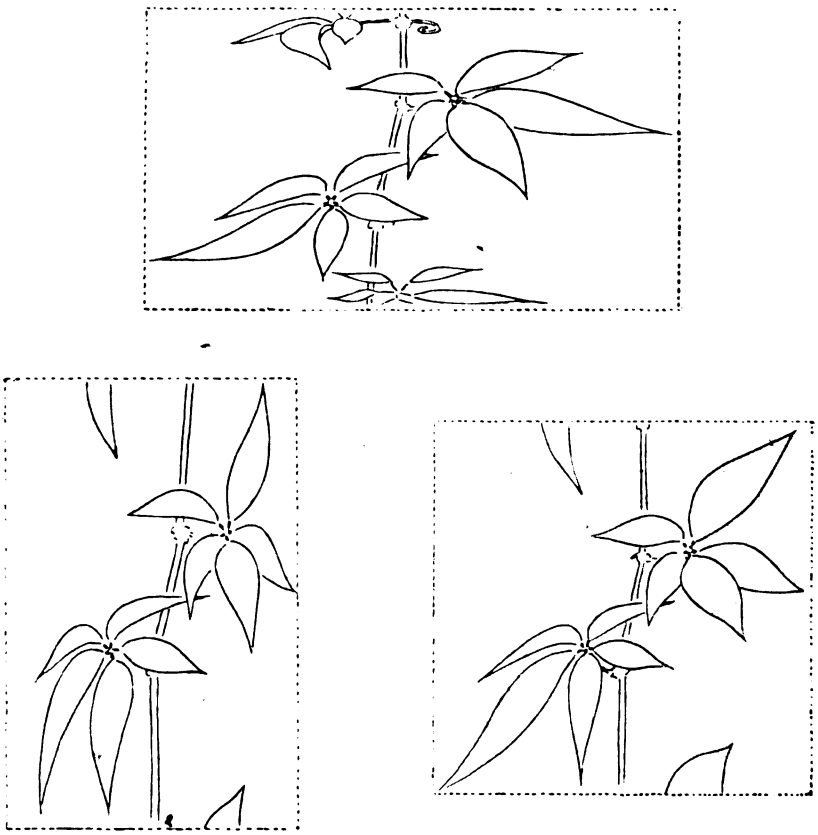


Fig. 213. — Trois transformées de la figure 212.

Dans ces conditions, la définition tout à fait complète de l'Interprétation devient la suivante :

---

[1] *Cf.* t. I, Chapitre I, § 20, *Remarque*, p. 41. Nous avons ici un des innombrables exemples où l'on reconnaît que les lois de l'art ne sont autres que les lois de la vie, énoncé qui, d'ailleurs, n'a d'intérêt que si l'on peut le développer en le précisant.

Digitized by Google

« *L'Interprétation consiste à expliciter au mieux les traits caractéristiques du modèle, les propriétés caractéristiques de la matière traitée, les caractéristiques de l'auteur (vision, émotion, idéation, etc.), et les caractéristiques assurant l'unité de l'œuvre, considérée comme un tout* (1).

» *L'accentuation ou explicitation de ces caractéristiques se traduit chaque fois par de nouvelles déformations.* »

D'après la première note du paragraphe 60 (p. 116), une déformation donnée ne sera pas astreinte à n'avoir *qu'une seule* amplitude optima. Au contraire, elle pourra en avoir une infinité, mais comprises dans un certain *champ*. La question du champ optimum pour l'amplitude de la déformation est implicitement contenue dans la définition complète de l'Interprétation. Devant être reprise et développée ailleurs, je me borne ici à le signaler.

En résumant ce qui précède, et en anticipant un peu sur un exposé à venir :

Dans l'Art de combiner les Formes, les préceptes sont rares, pas très bien formulés, et d'application incertaine. Ils apparaissent çà et là, comme des îlots à peine reconnus, étrangers à toute terre, et étrangers entre eux. Rien ne les relie ni ne les explique. Or, la Géométrie, *entendue comme il convient*, aidée ou non, suivant les cas, par d'autres disciplines, d'abord retrouve ces préceptes, les formule correctement et les complète. Puis elle en indique les nuances, les rapports mutuels et les modalités d'application. Sans doute, pour les raisons souvent dites, une étude géométrique, c'est-à-dire purement morphologique, ne saurait, en aucun cas, prétendre à tenir lieu d'une étude dynamique (ici : psychophysiologique), qui seule pourra être explicative, mais elle sera pour celle-ci une aide incomparable. De plus, les Formes abstraites étant, de leur nature, débarrassées de tout élément étranger à la Morphologie pure, elles permettent, et ceci est considérable, une expérimentation illimitée, faisant surgir des faits nouveaux : la Géométrie, *bien comprise*, peut jouer un rôle immense dans le renouveau de l'art moderne.

Ainsi se précisent, comme nous le disions plus haut, une base impersonnelle pour la critique, et des directives pour les efforts des artistes.

---

(1) On remarquera que, dans ces dernières caractéristiques, est implicitement comprise l'adaptation ou harmonisation à un *usage* ou à une *destination*.

Digitized by Google

67. — ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DE L'ŒUVRE D'ART.

Un avantage de l'énoncé qui termine l'avant-dernier paragraphe (65) est de montrer quel principe commun unit le sentiment du Beau dans la Nature et celui du Beau dans l'Art.

Le sentiment du Beau dans la Nature se trouve défini, *ipso facto*, par ce qui a été dit, et il n'est besoin de rien de plus pour rendre compte de locutions dérivées, telles que : une belle difformité, un beau cas pathologique.

Pour l'Art, en rappelant tout ce qui précède, les éléments disparates, relatifs au modèle, à la matière et à l'auteur, doivent être *orientés* et rendus *convergents*, c'est-à-dire subir chacun une modification particulière, qui permette à leur *groupement commun* d'acquérir une *individualité* propre [1]. Et dans cette loi nouvelle, plus étendue, qui unit toutes les leurs, modifiées, *domine* la recherche, l'expression, ou mieux l'exploitation, *dirigée*, en même temps que *désintéressée*, d'un *plaisir sensoriel* défini.

Effets convergents, individualité, action désintéressée (avec son corollaire : le souci, sans limite, de la perfection), et dominance d'un plaisir sensoriel. Tels sont les premiers éléments caractéristiques d'une œuvre d'art.

C'est par cette dominante, et par les modifications liées à elle, qu'une œuvre d'art se distingue d'un être de nature, non humain, ou d'une autre œuvre humaine.

Les distinctions entre l'art, le jeu, le travail, la morale, etc., suivent de là sans difficulté, et aussi le sens d'une locution dérivée comme : l'élégance d'une démonstration, où le plaisir exploité est purement intellectuel. On voit aussi comment et pourquoi un outil, une machine, une usine, peuvent être fort beaux, sans être cependant du tout une œuvre d'art, puisqu'il leur manque la *dominance sensorielle*, et l'on voit quelle confusion commettent ceux qui les proposent, *comme tels*, en modèle aux artistes.

---

[1] Là est l'*une* des manières de comprendre l'expression « l'unité dans la variété ».

Digitized by Google

68. — CONCLUSION.

La diversité des phénomènes esthétiques est extrême, puisque, du modèle (1) à l'humanité, en passant par la matière, et par l'auteur, le champ de l'inspiration est aussi étendu que l'univers lui-même.

D'autre part, le rôle de la raison, quel qu'il soit, n'y « joue » jamais qu'en second lieu, et sur une action préalablement déclenchée par l'émotion, qui en est le facteur, non seulement primordial et dominant, mais souvent à peine conscient. L'espoir de saisir, dans leur diagramme enregistré, des réactions émotives, intuitives, et dont une grande part est subconsciente, intéresse hautement le Problème général de la Connaissance.

En montrant que l'œuvre d'art est l'objectivation d'émotions liées, correspondant toutes à des lois de nature, le Sens esthétique apparaît comme un *Sens de la Loi naturelle* (2). L'Esthétique prend place dans un ensemble de disciplines connues, et son étude précise est justiciable des mêmes méthodes qu'elles, avec tout le prix de vérifications expérimentales aussi variées et aussi concluantes.

---

(1) Ou plus généralement : « motif » ou « sujet » en art.

(2) Un, et non : le.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE V.

MATIÈRE VIVANTE.

Pages.

42. *Matière vivante*..... 1
43. *Forme et Matière*..... 6
44. *Forme et Milieu*..... 7
Microbes..... 7
Remarque..... 8
Plantes..... 10
Les Vanesses de Standfuss..... 11
45. *Les deux éléments principaux d'une morphologie*..... 13

CHAPITRE VI.

MORPHOLOGIE HUMAINE.

Préliminaire.

46. *Tendances nouvelles*..... 15

Généralités sur les réactions de la matière vivante.

47. *Échanges d'énergie. Réaction*..... 19
Énergie reçue, absorbée, transmise ou émise..... 19
Réaction d'une matière vivante..... 21
Réactions associées. Parité d'allure. Synergie..... 22
48. *Caractéristiques d'une réaction élémentaire, isolée*..... 22
Cas moyen. Diagramme..... 23
49. *Variations d'une réaction*..... 24
Échanges d'énergie, et variation d'amplitude des réactions..... 24
Tonicité, et changement de signe des réactions..... 25
Sur les propriétés de la matière vivante..... 28
Viscosité et variation du retour au zéro..... 29
Remarque..... 30
Autre remarque..... 31
Une réaction peut subir deux séries fondamentales de variations.. 31

Digitized by Google

Pages.

50. *Les deux éléments principaux d'une réaction* 32
La réaction particulière appelée : Forme 33
Les deux aspects principaux d'un phénomène de réaction 34
Réactivité 35

51. *Allure générale de la variation des réactions simples.* Fonctions harmoniques 35
Remarque 39

52. *Réactions multiples. Réactions spontanées, ou autonomes* 42
Remarque I. Schéma de la croissance 44
Remarque II. Épisode à deux alternances. Schéma. Interprétation. 47
Remarque III. Hérédité 52
Remarque IV. Relations éventuelles, plus particulières 54

Application à la Morphologie humaine.

53. *Types morphologiques, et Tonicité. Schémas* 57
54. *Hypotonicité. Types dilatés* 60
Variétés du type dilaté 64

55. *Mésotonicité. Types moyens* 67
Variétés du type moyen 69
Les quatre variétés D, R, M, C, et les traits du visage 71
Quelques doubles prédominances 79
Remarqne 81
Le cas des Bigoudenn et celui des mineurs de Belgique 82
Prédominance morphologique, attitudes, tendances 84
Prédominance morphologique et correspondances fonctionnelles. 88
Remarque 92
Autre remarque 93

56. *Hypertonicité. Types rétractés* 95
Variétés du type rétracté 99
Remarque 101

57. *Comparaison sommaire entre les trois types morphologiques* 103
58. *« Passage » de l'état de santé à l'état de maladie* 107
Remarque 110

CHAPITRE VII.

ESTHÉTIQUE.

59. *Définitions* 115
60. *Note préalable* 116
61. *Impressions visuelles simultanées. Impressions successives* 118
Remarque 119

Digitized by Google

Pages.

62. *Vision et Déformation* 120
Exemple I 123
Exemple II 126
Remarque 135
Exemple III 142
Exemple IV 149

63. *Impressions visuelles successives* 152
Exemple I 154
Exemple II 155
Exemple III 158
Note 163

64. *L'interprétation en art* 165
Note 167

65. *La notion d'Harmonie* 168
66. *Art et Géométrie* 169
67. *Éléments caractéristiques de l'œuvre d'art* 174
68. *Conclusion* 175

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES FIGURES.

Fig.		Pages.
144.	Réaction simple. Cas moyen (schéma)	23
145.	Réactions simples, successives, passant du signe *moins* au signe *plus* (schéma)	27
146.		27
147.	Trois types de retour au zéro, pour viscosité de valeur décroissante (schéma)	30
148.	Variation des réactions simples (schéma)	37
149.	Quatre types schématiques de la variation de l'amplitude des réactions simples (allongement progressif des portées)	38
150.	Types schématiques correspondants, pour un allongement nul	39
151.	Fusionnement progressif des réactions successives (schéma)	41
152.	Réactions multiples (schéma)	43
153.	Pulsations de la croissance (schéma)	45
154.	Rétraction suivie d'expansion, moins les pulsations de détail (schéma).	46
155	Épisode à deux alternances (schéma)	48
156.	Diagramme d'un phénomène simple, alterné, à cause impulsive constante (allongement progressif des portées). Suppression de la cause impulsive : continuation du phénomène, avec portées devenues constantes (schéma)	53
157.	Sinusoïde ordinaire	56
158.	Hypotonicité. Modelés arrondis	61
159.	Hypotonicité. Modelés arrondis	62
160.	Croissance. Schémas de Stratz	63
161.	Mésotonicité. Variété digestive	72
162.	Mésotonicité. Variété respiratoire	73
163.	Mésotonicité. Variété musculaire	74
164.	Mésotonicité. Variété musculaire	74
165.	Mésotonicité. Variété musculaire	75
166.	Mésotonicité. Variété cérébrale	75
167.	Mésotonicité. Variété cérébrale	76
168.	Variété digestive-respiratoire	77
169.	Variété respiratoire-digestive	77
170.	Variété digestive-cérébrale	78
171.	Variété cérébro-digestive	78
172.	Variété cérébro-respiratoire	79

Digitized by Google

Fig.		Pages.
173.	Cérébro-respiratoire	80
174.	Hypertonicité. Rétracté bossué	97
175.	Hypertonicité. Rétracté bossué	98
176.	Hypertonicité. Rétracté bossué	98
177.		120
178.		121
179.	Aiguille Doran (Savoie)	124
180.	Les Grands Charmoz, vus du Chapeau (Haute-Savoie)	128
181.	L'Aiguille du Chardonnet (Haute-Savoie)	129
182.	La Pointe Francesetti (Savoie)	130
183.	L'Albaron (Savoie)	131
184.	Arête NE du Mu Blanc (Aravis, Savoie)	133
185.	Aiguille Noire de Tardevant (Aravis, Savoie)	134
186.	Le Cervin (calque de photographie)	137
187.	Le Cervin, d'après Ruskin	138
188.	Le Cervin, d'après Forbes	138
189.	Le Cervin, d'après Buhlmann	139
190.	Le Cervin, d'après Loppé	139
191.	Le Petit Dru (d'après une photographie)	140
192.	Le Petit Dru, d'après Naudet	141
193.	Le Petit Dru, d'après Lancelot	141
194.	La Révolution (Zilzer)	143
195.	Le Pêcheur éternel : 1er état (Z.)	144
196.	Le Pêcheur éternel : 2e état (Z.)	145
197.	Premier portrait (Z.)	145
198.	Second portrait (Z.)	145
199.	Portrait (Z.)	146
200.	Le Drapeau des Travailleurs (Z.)	147
201.		153
202.	L'Exécution (Z.)	154
203.		155
204.		156
205.		156
206.		157
207.		157
208.	Premier état d'une estampe de Wolff-Descourtis	160
209.	Second état	161
210.	Le Cervin	162
211.	Portrait royal de la Cathédrale de Chartres	164
212.	Donnée : un segment de Vigne-vierge	171
213.	Trois transformées de la figure 212	172

Digitized by Google

GAUTHIER-VILLARS & Cie
Imprimeurs-Éditeurs
55, Quai des Grands-Augustins, PARIS (6e)
Tél. : LITTRÉ 50-14 et 50-15. R. C. Seine 22520

Envoi dans toute la France et l'Union Postale, contre chèque ou valeur sur Paris.
Frais de port en sus. (Chèques-postaux : Paris 29.323).

Réactions de la Matière vivante et non vivante

PAR

Sir Jagadis Chunder BOSE
(A. M. : D. Sc. ; L. L. D. : F. R. S. : C. S. I. ; C. I. E.)

TRADUIT

Par Édouard MONOD-HERZEN

Un volume in-8 de 188 pages, avec 117 figures.. .. .. 35 fr.

Digitized by Google

GAUTHIER-VILLARS & Cie
Imprimeurs-Éditeurs
55, Quai des Grands-Augustins, PARIS (6e)
Tél. : LITTRÉ 50-14 et 50-15. R. C. Seine 22520

Envoi dans toute la France et l'Union Postale, contre chèque ou valeur sur Paris.
Frais de port en sus. (Chèques-postaux : Paris 29.393).

Physiologie de l'Ascension de la sève

PAR

Sir Jagadis Chunder BOSE
(A. M. ; D. Sc. ; L. L. D. ; F. R. S. ; C. S. I. ; C. I. E.)

TRADUIT

Par Nicolas DENIKER

Un volume in-8 de 286 pages, avec 93 figures. ..... **40 fr.**

Sous presse :

Électrophysiologie comparée

Par Sir Jagadis Chunder BOSE

Traduit par M. LEHMANN

Digitized by Google

GAUTHIER-VILLARS & Cie
Imprimeurs-Éditeurs
55, Quai des Grands-Augustins, PARIS (6e)
Tél. : LITTRÉ 50-14 et 50-15. R. C. Seine 22520

Envoi dans toute la France et l'Union Postale, contre chèque ou valeur sur Paris.
Frais de port en sus. (Chèques-postaux : Paris 29.323).

La Physiologie de la Photosynthèse

PAR

Sir Jagadis Chunder BOSE
(A. M. ; D. Sc. ; L. L. D. ; F. R. S. C. S. I. ; C. I. E.)

TRADUIT

Par J. et M.-L. DUFRENOY

PRÉFACE

De L. MANGIN
Membre de l'Institut

Un volume in-8 carré de xxx-302 pages, avec figures, 1927. .. .. 50 fr.

Digitized by Google

Tous les Travaux de Typographie

scientifique et commerciale

CATALOGUES INDUSTRIELS

ÉDITIONS D'ART

Gauthier-Villars et C^ie^

55, Quai des Grands-Augustins, — PARIS (6^e^)

Tél. : Littré 50-14 et 50-15 R. C. Seine 22520

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
DU BUREAU DES LONGITUDES
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

Tous les Travaux de Photogravure

trait, simili, couleur

REPRODUCTION D'OUVRAGES ANCIENS

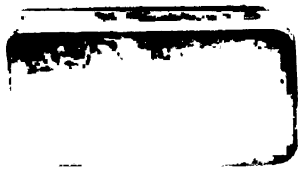
PAR PROCÉDÉ SPÉCIAL

79401. IMP. GAUTHIER-VILLARS, PARIS.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google